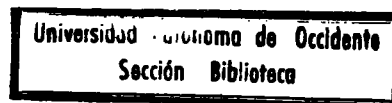


DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MOLINO EXTRUSOR DE FIDEOS

GUSTAVO BLANCO LOPEZ

DARIO AUGUSTO CADENA DIAZ

T0000797



8302



C.U.A.O.
BIBLIOTECA



0015893

CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DE OCCIDENTE

DIVISION DE INGENIERIAS

PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA

Cali, Mayo 1.987

T
620.1
B638d.

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MOLINO EXTRUSOR DE FIDEOS

GUSTAVO BLANCO LOPEZ

11

DARIO AUGUSTO CADENA DIAZ

Trabajo de grado presentado como
requisito para optar al título de
Ingeniero Mecánico.

Director : ADOLFO LEON GOMEZ
I.M.

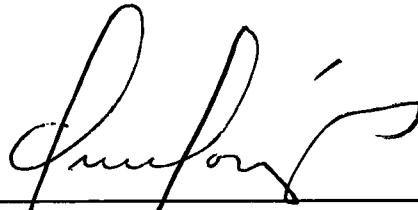
CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DE OCCIDENTE

DIVISION DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA

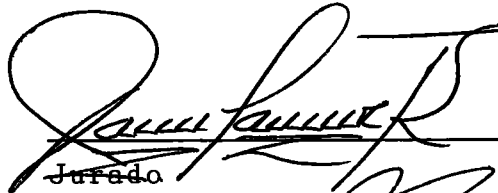
Cali, Mayo de 1.987

Nota de Aceptación

Aprobado por el Comité de trabajo de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Corporación Universitaria Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Mecánico.



Presidente del Jurado



Jurado



Jurado

Cali, Mayo de 1.987

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCION	1
1 ENTORNO DEL PROYECTO	4
1.1 MATERIA PRIMA	4
2 MAQUINARIA	6
2.1 MOLINOS	6
2.2 MEZCLADORA	8
2.3 MOLINO DE FIDEOS	9
2.4 SECADORAS	10
2.5 ID DISTRIBUCION DE PLANTA	11
2.6 ^{D15} COMERCIALIZACION	12
3 PRINCIPIOS FUNCIONALES	13
3.1 EL PROCESO	13
3.1.1 La Extrusión	16
4 PROCESOS ANALOGOS	18
4.1 OBTENCION DE ACEITES	18
4.2 INYECCION DE PLASTICOS	21
5 COMPORTAMIENTO DE LA HARINA	24

5.1	GENERALIDADES	24
5.2	ENSAYOS REALIZADOS	28
5.3	CARACTERISTICAS OBTENIDAS	68
6	DISEÑO DE LA MAQUINA	70
6.1	CONSIDERACIONES GENERALES	70
6.1.1	Análisis y Conceptos	74
6.2	ANALISIS DE LA MAQUINA PROTOTIPO	81
6.2.1	Tornillo Máquina Prototipo (Ensayo)	83
6.2.1.1	Cálculo de la potencia	89
6.2.1.2	Fuerza axial	91
7	ANALISIS DE LA MAQUINA	93
7.1	DIMENSIONADO DEL TORNILLO SIN FIN	93
7.2	POTENCIA DE DISEÑO	98
7.3	CALCULO DE LA FUERZA AXIAL	98
7.4	CALCULO DEL TORQUE	99
7.4.1	Potencia consumida	100
7.4.2	Características del variador	101
7.5	SELECCION DE LA CADENA	102
7.6	DISEÑO DEL EJE	103
7.6.1	Distribución de Fuerzas	103
7.6.2	Cálculo de Fuerzas y reacciones	104
7.6.3	Diagrama de momentos	106
7.6.4	Cálculo del diámetro del eje	107
7.7	DISEÑO DEL PASADOR	110

7.8	DISEÑO DE LA CUÑA	111
7.9	SELECCION DE LOS RODAMIENTOS	111
7.9.1	Rodamientos radiales	111
7.9.2	Rodamiento axial	113
7.10	DISEÑO DEL ALOJAMIENTO A CAJA PARA EL RODA MIENTO AXIAL	114
7.10.1	Tornillos de fijación	114
7.11	CILINDRO	115
7.12	CUERPO PRINCIPAL DE LA MAQUINA	116
7.13	LA BOQUILLA	116
8	SISTEMA DE PROTECCION	118
9	CONCLUSIONES	121
BIBLIOGRAFIA		

LISTA DE FIGURAS

	Pág
FIGURA 1. Molino de Martillo	7
FIGURA 2. Cuchillas de un Molino de Martillo	7
FIGURA 3. Mezcladora de harina	9
FIGURA 4. Mezcladora Moderna	9
FIGURA 5. Producción ineficiente de Fideo.	13
FIGURA 6. Prensa Expeller	20
FIGURA 7. Extrosionadora con Calentamiento eléctrico por inducción	22
FIGURA 8. Fuerza de fricción en un plano inclinado	25
FIGURA 9. Modelo de Fricción	29
FIGURA 10. Dispositivo para Medir el Coeficiente de fricción de la Harina.	29
FIGURA 11. Modelo para calcular μ	31
FIGURA 12. Control de Temperatura en la platina	31

	Pág
FIGURA 13. Circuito Eléctrico	32
FIGURA 14. Cilindro para determinar variación de volumen.	33
FIGURA 15. Fuerzas generadas.	36
FIGURA 16. Variación del volumen por fuerza aplicada. H1.T.A.	56
FIGURA 17. Variación de volumen por fuerza aplicada. H2. T.A.	57
FIGURA 18. Variación de volumen por fuerza aplicada. H2 - TA	58
FIGURA 19. Variación de μ con la humedad P2. T150°F	59
FIGURA 20. Variación de μ con la humedad P1 T150°F	60
FIGURA 21. Variación de μ con la humedad P3 T200°F.	61
FIGURA 22. Variación de μ con la temperatura P2 H3	62
FIGURA 23. Variación de μ con la temperatura P3 H3	63
FIGURA 24. Variación de μ con la temperatura P3 H1	64
FIGURA 25. Variación de μ con el acabado superficial H1 T2	65
FIGURA 26. Variación de μ con el acabado superficial H2 T2	66
FIGURA 27. Variación de μ con el acabado superficial H2 T1	67

	Pág
FIGURA 28. Distribución de velocidades en el canal del husillo.	72
FIGURA 29. Velocidad real en el canal del husillo.	72
FIGURA 30. Sistema de Coordenadas	75
FIGURA 31. Notación de tornillo SinFin	79
FIGURA 32. Tornillo desarrollado	79
FIGURA 33. Flujo de material en la boquilla.	83
FIGURA 34. Perfil del cono del Tornillo.	84
FIGURA 35. Volumen ocupado en un canal de la Zona de Alimentación.	84
FIGURA 36. Modelo para medir la Fuerza Axial	91
FIGURA 37. Boquilla de Trabajo	95
FIGURA 38. Volumen en la Zona de compresión	97
FIGURA 39. Superficie de acción de la Fuerza Axial	99
FIGURA 40. Fricción en el Cilindro	100
FIGURA 41. Distribución de Fuerzas en el Eje	103
FIGURA 42. Tensiones en el piñón de cadena	104

	Pág.
FIGURA 43. Deflexión en vigas	104
FIGURA 44. Diagrama de momentos	106
FIGURA 45. Fuerzas sobre el pasador	110
FIGURA 46. Fuerzas sobre la cuña	111
FIGURA 47. Rodamiento Axial 51407	113
FIGURA 48. Recomendación en montaje rodamiento 51407	113
FIGURA 49. Alojamiento del Rodamiento Axial	114
FIGURA 50 Pasador Fusible	119

LISTA DE TABLAS

	Pág
TABLA 1 Variación de volumen por fuerza aplicada. Humedad 1	34
TABLA 2 Variación de volumen por fuerza aplicada. Humedad 2	35
TABLA 3 Variación de volumen por fuerza aplicada. Humedad 3	35
TABLA 4 Rugosidad 1. Temperatura ambiente. Humedad 1	37
TABLA 5 Rugosidad 1. Temperatura ambiente. Humedad 2	38
TABLA 6 Rugosidad 1. Temperatura ambiente. Humedad 3	39
TABLA 7 Rugosidad 2. Temperatura ambiente. Humedad 1	39
TABLA 8 Rugosidad 2. Temperatura ambiente. Humedad 2	40
TABLA 9 Rugosidad 2. Temperatura ambiente. Humedad 3	40
TABLA 10 Rugosidad 3. Temperatura ambiente. Humedad 1	41
TABLA 11 Rugosidad 3. Temperatura ambiente. Humedad 2	41

	Pág.
TABLA 12 Rugosidad 3. Temperatura Ambiente. Humedad 3	42
TABLA 13 Rugosidad 1. Humedad 1. Temperatura 1	42
TABLA 14 Rugosidad 1. Humedad 1. Temperatura 2	43
TABLA 15 Rugosidad 1. Humedad 1. Temperatura 3	43
TABLA 16 Rugosidad 2. Humedad 1. Temperatura 1	44
TABLA 17 Rugosidad 2. Humedad 1. Temperatura 2	44
TABLA 18 Rugosidad 2. Humedad 1. Temperatura 3	45
TABLA 19 Rugosidad 3. Humedad 1. Temperatura 1	45
TABLA 20 Rugosidad 3. Humedad 1. Temperatura 2	46
TABLA 21 Rugosidad 3. Humedad 1. Temperatura 3	46
TABLA 22 Rugosidad 1. Humedad 2. Temperatura 1	47
TABLA 23 Rugosidad 1. Humedad 2. Temperatura 2	47
TABLA 24 Rugosidad 1. Humedad 2. Temperatura 3	48
TABLA 25 Rugosidad 2. Humedad 2. Temperatura 1	48
TABLA 26 Rugosidad 2. Humedad 2. Temperatura 2	49
TABLA 27 Rugosidad 2. Humedad 2. Temperatura 3	49

	Pág.
TABLA 28 Rugosidad 3. Humedad 2. Temperatura 1	50
TABLA 29 Rugosidad 3. Humedad 2. Temperatura 2	50
TABLA 30 Rugosidad 3. Humedad 2. Temperatura 3	51
TABLA 31 Rugosidad 1. Humedad 3. Temperatura 1	51
TABLA 32 Rugosidad 1. Humedad 3. Temperatura 2	52
TABLA 33 Rugosidad 1. Humedad 3. Temperatura 3	52
TABLA 34 Rugosidad 2. Humedad 3. Temperatura 1	53
TABLA 35 Rugosidad 2. Humedad 3. Temperatura 2	53
TABLA 36 Rugosidad 2. Humedad 3. Temperatura 3	54
TABLA 37 Rugosidad 3. Humedad 3. Temperatura 1	54
TABLA 38 Rugosidad 3. Humedad 3. Temperatura 2	55
TABLA 39 Rugosidad 3. Humedad 3. Temperatura 3	55

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1	Esquema de la distribución de fuerzas	125
ANEXO 2	Plano del eje principal de la máquina	126
ANEXO 3	Plano del husillo o tornillo Sin Fin	127
ANEXO 4	Plano de la Carcaza	128
ANEXO 5	Plano de la Camisa o Cilindro	129
ANEXO 6	Plano de la Boquilla de extrusión	130
ANEXO 7	Plano del alojamiento del rodamiento axial Casquete de acero transmisor de la fuerza axial al rodamiento, Buje de bronce que soporta al casquete.	131
ANEXO 8	Máquina extrusora de fideos. Escala 1.75	132

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos:

A ADOLFO LEON GOMEZ., Ingeniero Mecánico, profesor de Diseño de la
Corporación Universitaria Autónoma de Occidente y Director del
Proyecto.

A MOLINOS AURORA

A TALLER CADENA

A LA CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DE OCCIDENTE

A Todas aquellas personas que en una u otra forma colaboraron con
la realización del presente proyecto.

RESUMEN

El proyecto esta compuesto por dos partes básicas. La primera parte que se podría llamar la experimentación, consta de investigaciones realizadas para determinar el comportamiento de la harina bajo la influencia de diferentes parámetros como fricción, temperatura, altas presiones, etc., que se encuentran durante un proceso de extrusión. Los resultados obtenidos, llevados a tablas y gráficos, unidos a la complejidad del proceso de extrusión crean la necesidad de visualizar y obtener datos a partir de una máquina prototipo construida a escala sobre la que se puedan realizar ensayos bajo condiciones controladas que permiten avanzar con mayor seguridad en el diseño de los diferentes elementos que conforman la máquina.

Se hace efectivo la construcción de la máquina prototipo, ideada de tal forma que se puede lograr su funcionamiento, montándola en un torno, lo que constituye un ahorro considerable en su costo y permite medir muchos parámetros con mucha más facilidad. Por lo tanto, la máquina prototipo se constituye en un laboratorio sobre la cual se pueden establecer los efectos de diferentes diseños de boquillas, se puede medir la fuerza axial generada que en estos procesos es bastante alta, el efecto de la boquilla sobre la producción, la potencia consumida, torque, rpm ideal

para un husillo dado, etc., que permite avanzar con seguridad en el diseño de la máquina productora de fideos.

Para comprender en forma clara el comportamiento de la harina durante el proceso de extrusión, se estudian los análisis o conceptos realizados en procesos análogos que han sido investigados con profundidad y que sirven como punto de comparación con los resultados de los experimentos realizados. Teniendo una base sólida cimentada por las experiencias directas sobre el producto, se aplican las relaciones matemáticas que permiten realizar el diseño de los elementos que forman la máquina, lo que constituye la parte teórica del proyecto.

Uno de los elementos importantes en la máquina es la boquilla, cuyo diseño ha sido realizado teniendo en cuenta resultados netamente experimentales, debido a que el movimiento del flujo que dentro de ella se genera y las repercusiones en la producción son complejas y difíciles de analizar matemáticamente; además no hay punto de comparación con respecto a boquillas diseñadas para la extrusión de plásticos cuyos resultados son totalmente diferentes.

Los resultados obtenidos en el proyecto son altamente satisfactorios porque muestran la economía en energía eléctrica consumida para desarrollar el proceso en la forma que se ha diseñado la máquina. El producto se obtiene de mejor calidad porque se logra uniformidad en su tamaño, lográndose menos daño al producto y ganando de paso una mejor presentación.

INTRODUCCION

Existe en el mercado desde hace ya varios años un producto alimenticio, utilizado básicamente para la preparación de sopa, de gran consumo en la clase media y baja de nuestro país, por su bajo precio y alto poder nutritivo además del buen sabor. El producto es comercializado bajo el nombre de fideo para sopas y dependiendo del productor pueden variar sus ingredientes.

El fideo para sopa se procesa a nivel de la mediana y pequeña industria, de las cuales hay en la ciudad de Cali, cuatro, regularmente organizadas que abastecen el mercado del Valle y algunas zonas del Norte del Departamento del Cauca. Es importante anotar que estas empresas no se limitan exclusivamente a comercializar el fideo para sopa, como norma las empresas visitadas comercializan tres o cuatro productos más, procesados en molinos de martillo de gran productividad.

Sin lugar a dudas estas empresas gozan de una gran proyección social por los productos alimenticios de bajo precio que ponen a disposición de las clases menos favorecidas de nuestra sociedad, atacada por grandes problemas nutricionales. Contribuyen además en la creación de empleos, ocupando bastante mano de obra sobre todo en el empaque de los productos, trabajo realizado generalmente por personal femenino.

Es indudable que sus costos de producción se elevan considerablemente en el proceso de obtención del fideo para sopas. Las dificultades en frentadas en el proceso del fideo son enormes, destacándose lo económicamente negativo que es el gran consumo de energía de estas máquinas. Además para el operario el sitio de trabajo es realmente hostil por la gran cantidad de calor generado.

Las dificultades que presenta la máquina son debidas a la construcción empírica de la misma, desconociendo muchas normas técnicas y de diseño esenciales para un buen funcionamiento y operación.

Hay que agregar además, la escasa por no decir nula información existente sobre este tipo de procesos o manejo de harinas a alta presión que es la manera de obtener el fideo con su forma y consistencia tradicional.

Tratando de aliviar los problemas presentados en la producción del fideo para sopas es preciso colaborar con estas industrias diseñando y construyendo una máquina para realizar este trabajo en forma técnica, eficaz y con mayor economía. Como se ha mencionado con anterioridad la bibliografía en este tipo de maquinaria es escasa lo que obliga a realizar un gran trabajo de investigación, comparándolo a su vez con posibles sóluciones prácticas para poder llegar a un diseño óptimo de la máquina.

Para realizar un diseño se requiere una serie de conocimientos básicos, teóricos, además de los adquiridos por experiencia. En el proyecto de una máquina se llega a varias soluciones que cumplen con el objetivo o

la necesidad por la que se creo dicha máquina, de las cuales se elige una que sea la que mejor se adapte al medio de producción en el cual va a funcionar. Con el paso del tiempo se van perfeccionando diseños realizados mediante modificaciones parciales o totales de algunos sistemas, basados principalmente en la experiencia vivida, la cual en el diseño de máquinas tiene que ser un punto de partida obligatorio.

Por lo tanto, no se puede desconocer la forma general de la máquina actual y es preciso asumir muchos sistemas análogos pero siempre mejorados con una justificación teórica, que garantice el trabajo realizado.

1. ENTORNO DEL PROYECTO

1.1 MATERIA PRIMA

El fideo para sopas se obtiene a partir de una harina que tiene la siguiente composición en peso:

Harina de arroz:	63.4%
Harina de Maíz :	21 %
Agua:	13.44%
Sal:	2.1 %
Colorante:	0.06%

La composición descrita no es un patrón seguido por todas las empresas que procesan el fideo, en algunas, se le agregan extractos para dar sabor siendo de mayor uso el extracto de pollo. Sin embargo siempre tienen como base la harina de arroz, harina de maíz, sal, y el agua, aunque se puede variar el porcentaje descrito.

El agua que se le agrega tiene la función de aumentar la fluidez y servir de aglomerante, para facilitar el proceso y obtener el fideo

con sus características de compactación y formas tradicionales. El porcentaje de agua entre una empresa y otra varia mucho, dependiendo del sistema que tengan para el secado posterior del fideo.

2. MAQUINARIA

2.1 MOLINOS

En éstas empresas utilizan el molino de martillo Fig. 1 para obtener la harina de arroz y de maíz, o sea que su función principal es pulve rizar los cereales. Consta de una tolva de alimentación y un sistema central compuesto por cuchillas formadas por dos cuerpos de los cuales uno esta unido al eje principal de rotación por medio de un pin en el cual el primer cuerpo de la cuchilla tiene una libertad de giro de aproximadamente 300 grados. El otro extremo del primer cuerpo se une por un pin al segundo cuerpo de la cuchilla, sobre el cual puede rotar también unos 300 grados. (Fig. 2).

Con el sistema de cuchillas anotado se obtiene una gran libertad de las mismas, las cuales giran a velocidades relativamente altas, produciendo el efecto de una gran cantidad de martillos golpeando sobre el cereal que se necesite pulverizar.

En las empresas mejor organizadas, que aprovechan la gran producti vidad de los molinos de martillo, se elaboran productos en polvo, usados para preparar coladas, refrescos o teteros para bebés.

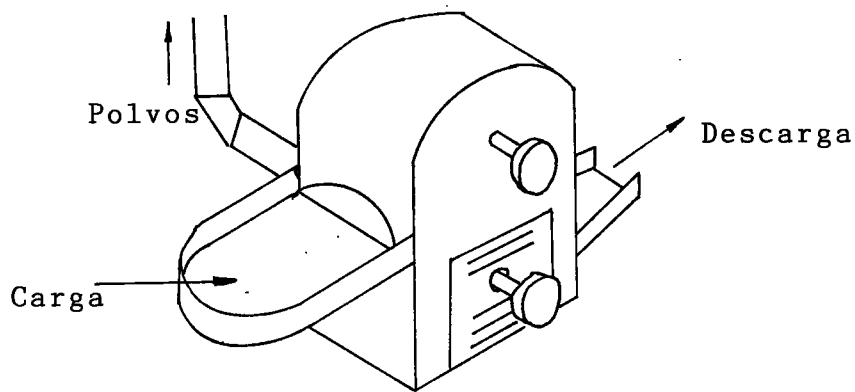


FIGURA 1. Molino de Martillo

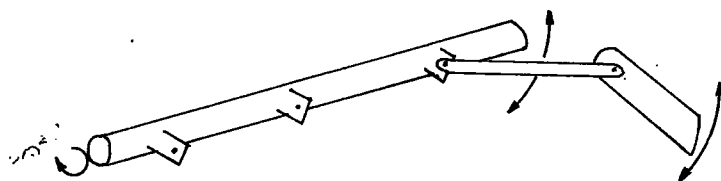


FIGURA 2. Cuchillas de un Molino de Martillo

Los molinos se clasifican así:

- Molinos de Martillo. En los que se procesan en primera instancia los cereales, obteniéndose la harina con un tamaño de grano relativamente grande.

Están provistos de motores de 20 HP (gran consumo de energía), y una velocidad de 1700 rpm., que acciona el eje principal de la máquina a través de poleas y transmisión de correas en V.

- Pulverizadores. Son los mismos molinos de martillo con diferencia en la velocidad de funcionamiento (3500 rpm.). El motor de 25 HP va acoplado directamente al eje principal de la máquina. Se obtiene una harina mucho más fina. Dependiendo del producto para el cual

se este procesando la harina, ésta se puede pasar hasta por tres pulverizadores para obtener harina de gran finura.

2.2 MEZCLADORA

La función de esta máquina como su nombre lo indica, es mezclar homogeneamente los componentes de la harina necesaria para obtener el fideo. Para realizar este proceso existen diversos diseños de máquinas que lo hacen en forma satisfactoria.

Dependiendo del poder económico de la empresa se puede obtener una máquina de construcción local (en la misma empresa), una máquina importada de gran rendimiento y efectividad, o la empresa con menores recursos en la que lo hacen manualmente obteniendo un producto de menor calidad.

La mezcladora de construcción local (Fig. 3) consta de un recipiente cilíndrico u olla profunda, provista de un tubo central dentro del cual funciona un tornillo sin fin que eleva la harina alimentada por la parte inferior de la máquina, y la suelta en la parte superior para caer al fondo del recipiente formando así un proceso cíclico durante un tiempo de 10 minutos, obteniéndose buen resultado en la homogenización de la harina.

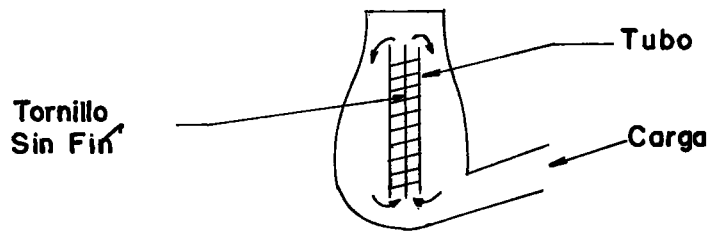


FIGURA 3. Mezcladora de Harina

En otra empresa utilizan una máquina italiana, que consta de un recipiente giratorio horizontal donde se carga la harina, y sobre el cual entra una varilla con un conformado especial que hace las veces de un batidor revolviendo la harina en forma muy eficiente (Fig. 4). El ciclo de trabajo es de aproximadamente 10 minutos.

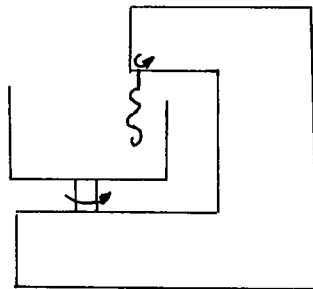


FIGURA 4. Mezcladora moderna

2.3 MOLINO DE FIDEO

Es la máquina encargada de producir el fideo para sopas. Consta de una tolva de alimentación, un sistema de compactación, y el sistema de conformado del producto. Existen máquinas usando motores de 25 HP y hasta de 35 HP con transmisión al eje principal por cadena

(motor de 25 HP) o por bandas (motor de 35 HP). Su producción aproximada es de 1.800 Kg en ocho horas o sea 225 Kg/h.

Siendo esta máquina el objeto del proyecto se analizará detalladamente en secciones precedentes.

2.4 SECADORAS

El fideo procesado en el molino sale con una humedad que es necesario eliminar para evitar que el producto se agrie rápidamente. Este objetivo es logrado en forma muy diferente en las empresas, dependiendo como en el caso de las mezcladoras, de la capacidad económica de las mismas. La fábrica con mayor solvencia utiliza un horno provisto de resistencias, logrando el secado en un tiempo de 5 a 6 horas.

Otra empresa ha acondicionada un cuarto encerrado donde se aprovecha el calentamiento del techo ocasionado por el sol, aumentado además el calor en el cuarto con lámparas de infrarrojos. El secado se logra de un día para otro.

También se puede lograr como lo hacen en una empresa, mediante la exposición directa del producto al sol en bandejas especiales para tal efecto, sufriendo graves consecuencias en la época de lluvias en la que se puede demorar mucho el proceso de secado.

2.5 DISTRIBUCION DE PLANTA

Una planta para procesar este producto esta compuesta básicamente por las siguientes partes:

Zona de descargue: Es la parte de la planta donde se reciben los cereales (maiz, arroz,) y demás constituyentes de la harina, diseñada de tal manera que permita un fácil descargue y posterior arrume de los productos, sobre todo del maíz y del arroz que son los de mayor cantidad.

Zona de máquinas: Dentro de esta zona se ubican las máquinas en el orden necesario para el proceso, encontrando por un lado, la trilladora para el primer proceso del maíz, a la que le sigue un primer molino de martillo, pasando luego a un segundo molino para obtener la harina de maíz con la contextura requerida. Del segundo molino la harina pasa a la mezcladora.

Cerca de la mezcladora se encuentra el molino encargado de pulverizar el arroz de donde pasa a mezclado para obtener, agregando los demás productos en sus porcentajes requeridos la harina necesaria con la que se alimenta el molino de fideos.

Cuando se ha elaborado el producto pasa a la sección de secado en la que, como se informo anteriormente se elimina la humedad del fideo, obteniéndose el producto listo para la sección de empaque.

Zona de Empaque: El empaque del producto se realiza manualmente, utilizando en esta actividad personal femenino. Es muy lento y dispendioso el empaque del fideo, por su forma irregular en cuanto al largo, factor que se hace necesario homogenizar para poder lograr un empaque automatizado como lo han tratado de hacer en algunas empresas. La máquina de empaque automático trabaja o empaca por peso siendo demasiado sensible; al tener mucha irregularidad el peso de cada uno de los fideos producidos es muy difícil lograr el peso para el que se ha calibrado la máquina y por tanto imposible lograr el uso de la misma.

Inmediatamente después de la zona de empaque está la sección de despacho desde la cual se distribuye el producto.

2.6 COMERCIALIZACION

El producto es empacado en chuspas plásticas en las que se enuncian, como es normal los ingredientes del fideo y su peso aproximado que es de 100 grs. Estas empresas cuentan con equipo automotriz necesario para la distribución; labor a cargo de vendedores que tienen sus clientes (supermercados, tiendas, etc), dentro de la ciudad y fuera de ella en el resto de ciudades del departamento. Abastecen también ciudades y pueblos de departamentos vecinos. Su costo es realmente bajo.

3. PRINCIPIOS FUNCIONALES

3.1 EL PROCESO

En la producción de fideo para sopas se parte de harina previamente preparada y mezclada, que se alimenta a una máquina cuyo principal elemento es un tornillo extrusor que comprime la harina y la obliga a fluir por entre dos platos, de los cuales uno es fijo y el otro gira solidario con el eje del extrusor; se logra así la forma del fideo pero con mucha irregularidad. (Fig. 5).

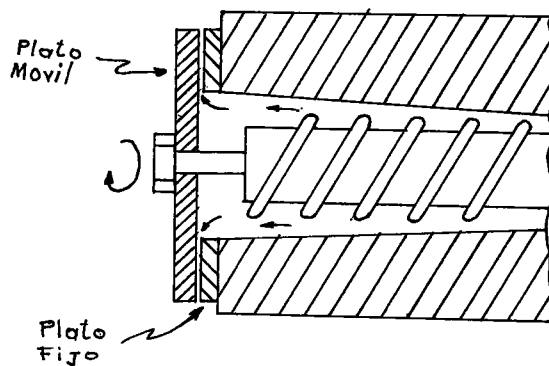


FIGURA 5. Producción ineficiente de Fideo

Por la tolva de alimentación se suministra la harina que es transportada por el extrusor hasta la zona de compresión, en la cual tiene que realizar un cambio de dirección de 90 grados en su flujo, para

lograr la salida por entre los platos. Este cambio brusco de dirección obliga a un fuerte trabajo de compresión y consumo de potencia, que sumada a la que se pierde por la fricción entre los platos, representa un alto porcentaje de la potencia total.

Se puede deducir muy fácilmente que la construcción de esta máquina está basada en el principio de la máquina de moler casera, pero que muestra ausencia de gran cantidad de detalles técnicos de diseño que representan bajos rendimientos y gran consumo de energía.

Como se dijo anteriormente, para llegar dentro del diseño, a conseguir una máquina que satisfaga completamente las necesidades para las que ha sido creada, es necesario que a un primer diseño se le corrijan los problemas que presenta y que se observan solo con el funcionamiento de la misma, y poco a poco, introduciendo correcciones se logra un funcionamiento mucho más eficiente de la máquina.

En el diseño a realizar se tiene en cuenta la idea o estructura general de las actuales máquinas, constituidas por las siguientes partes principales:

- Cuerpo principal de la máquina; El cuerpo de la máquina está con formado por la tolva de alimentación, el sistema de compactación, que se basa en el principio de extrusión, logrado por un tornillo sin fin encargado de transportar y comprimir la harina contra el sistema de formado, constituido a su vez, por un plato que gira solidario

al eje principal, tal como ocurre en la máquina de moler casera.

- Sistema motriz: Compuesto por su motor, reductor de velocidades y el sistema de transmisión que pueden ser bandas en V o cadenas.
- Estructura metálica: Constituye la base de la máquina.

Los problemas que presentan las actuales máquinas, y que se constituyen en los obstáculos a superar en un nuevo diseño de la misma son: el calentamiento excesivo ocasionado por el proceso de extrusión que genera un gran rozamiento y por consiguiente pérdida de la potencia proporcionada, que se consume en gran porcentaje generando calor. Es tal el calentamiento de la máquina que el sitio de trabajo representa grandes riesgos para el operario, al estar expuesto, por contacto con la máquina a quemaduras. En todas estas empresas han tratado de refrescar un poco el sitio de trabajo y por consiguiente la máquina, colocando ventiladores al frente de la misma para disipar un poco el calor generado y evitar daños en elementos de la máquina como rodamientos, etc.

Es que la extrusión es un proceso complejo, que en la construcción de estas máquinas no ha sido estudiado bajo ningún punto de vista, y del cual para aplicarlo al trabajo con harinas no se encuentra bibliografía alguna, haciendo necesario investigaciones del comportamiento de la harina para asimilarla a sistemas análogos de extrusión de los cuales si se puede encontrar referencias.

Representa el diseño del tornillo sin fin el elemento principal y el punto de partida del actual diseño, considerando las investigaciones realizadas experimentalmente como un aporte y una referencia importante para futuras investigaciones o diseños de máquinas para el manejo de harina.

3.1.1 La extrusión

"La palabra extrusión viene de los vocablos latinos "ex" y "trudere" que significan respectivamente, fuerza y empujar"¹. Se puede definir la extrusión como el proceso de obtención de longitudes ilimitadas o limitadas con una sección transversal constante, conformando el material al obligarlo a pasar a través de una boquilla bajo condiciones controladas. El proceso implica dos aspectos, el de transporte de material hacia la boquilla y el de conformado al pasar a través de ésta.

El proceso de extrusión se utiliza en escala industrial desde comienzos del siglo XIX para fabricar tuberías de plomo; sin embargo, el uso de la extrusión en otras aplicaciones tales como extrusión de productos cerámicos, pastas alimenticias, barras de hielo, electrodos

¹• Anguita, Ramon D. Extrusión de plásticos. Barcelona, España Blume, 1975, p. 210

de carbón, minas de grafito para lapiceros, vidrio, y otros materiales, es un arte muy antiguo, cuyos comienzos no son muy conocidos.

La primera maquina industrial de extrusión que se recuerda, es la construída por J. Bramah en 1.795 para la extrusión de tubería de plomo. El siguiente paso importante en este sector se produjo a mediados del siglo XIX, cuando en Alemania e Inglaterra, se comenzó a recubrir conductores de cobre para la fabricación de cables submarinos. La industria del cable ha sido asi pionera y parte importante en el desarrollo de los procesos de extrusión.

En las máquinas actuales de extrusión la característica más destacada es el uso de un tornillo de Arquimedes que gira en el interior de un cilindro, aunque desde luego se usan también máquinas basadas en principios diferentes. La realización práctica de los procesos de extrusión se ha efectuado con dos tipos de máquinas extrusoras, que han dado nombre a los dos procesos de extrusión, ha saber, extrusión con pistón y extrusión con tornillo.

4. PROCESOS ANALOGOS

4.1 OBTENCION DE ACEITES

Para la obtención de aceites es necesario realizar un proceso en máquinas análogas a la que se pretende diseñar, por lo que es importante obtener detalles de estas máquinas que sirvan como referencia, o de posible aplicación en éste caso.

El aceite se obtiene básicamente por dos procesos, el prensado discontinuo, que es el proceso más antiguo en la extracción de aceites y que se basa en la aplicación de presión sobre una masa de productos oleaginosos, llegandose a las máquinas modernas de prensado hidráulicos.

El segundo proceso es el prensado continuo, realizado en máquinas que reciben el nombre de Expeller o prensa de martillo. Las prensas continuas ahorran mucha mano de obra respecto a las hidráulicas y dan un rendimiento en aceites algo superior. Su mayor inconveniente estriba en el gasto de energía relativamente alto, tal como sucede en la máquina para obtención de fideo.

La prensa de tornillo desarrolla la presión por medio de un eje rotatorio o tornillo sin fin, desarrollando presiones extremadamente altas, del orden de 1.400 a 2.800 Kg/cm² (19.870 a 39.738 Lbs/pulg²) Los ejes de los tornillos sin fin están accionados por un motor eléctrico de 40 H.P., provisto de reductor de velocidad. Para la eliminación de la gran cantidad de calor generado por la fricción, el cilindro se enfria mientras la máquina trabaja, haciendo pasar el aceite exprimido por un refrigerante de agua, y pulverizando el aceite frío sobre el exterior del cilindro. El tornillo sin fin puede estar también, si se desea, refrigerado con agua.

Hay otro tipo de máquina de tornillo sin fin, construída por la casa Anderson Ibec, conocidas como prensas Expeller 33 (Fig. 6), usadas para trabajar materiales con alto contenido de proteínas, tales como soya, semilla de algodón, linaza, ajonjolí y cacahuete o maní.

Estas prensas están provistas de motor de 40 H.P.

Para el manejo de materiales duros, fibrosos, de alto contenido de aceite, tales como copra*, palmito, coquito de aceite, etc., la Anderson construye los modelos Duplex 33 de diseño extrapesado. Estas máquinas tienen cojinetes de empuje más pesados, motores mayores, engranajes especiales, y otras características de alta resisten

* Copra: médula del coco

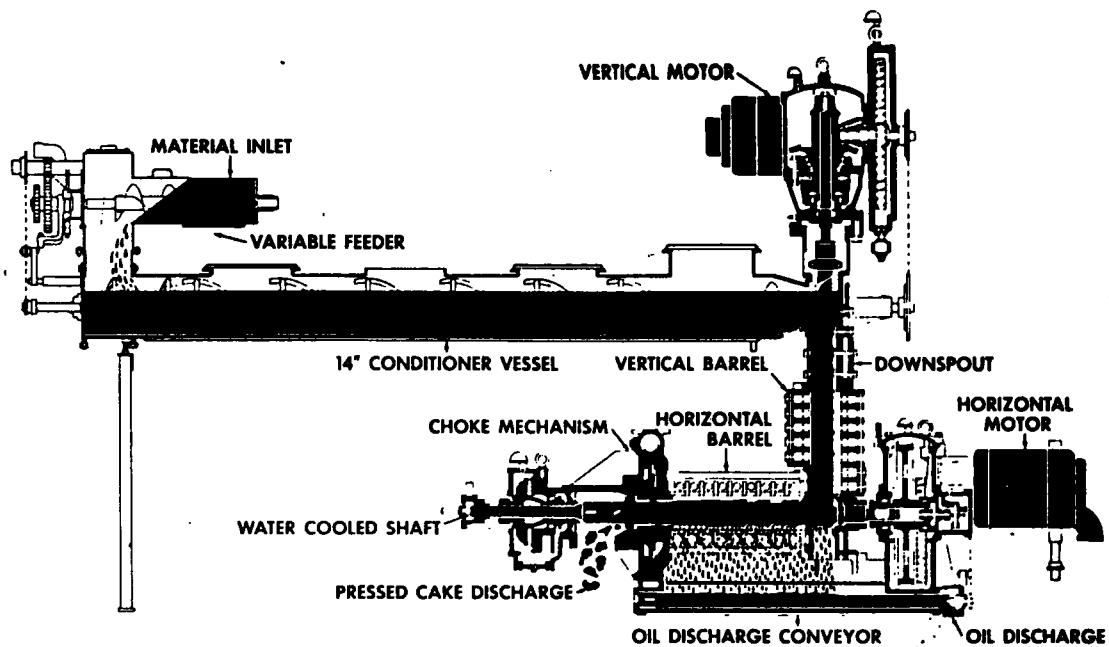


FIGURA 6. Prensa Expeller *

cia, que son necesarias para soportar las drásticas condiciones de prensado de estos materiales.

La máquina Anderson Duplex 33 está equipada con un motor de 50 H.P., y es enfriada por agua con objeto de contrarrestar el calor de fricción que se genera cuando estos materiales fibrosos se someten a alta presión.

* SAVGORDONY. V.K. Transformación de Plásticos. Barcelona, España, Blume. 1980, p. 15

4.2 INYECCION DE PLASTICOS

"Por extrusión de plásticos se entiende el estirado continuo o periodico de artículos perfilados de longitud ilimitada o limitada, a través de una cabeza de sección determinada".²

Las máquinas de extrusión se emplean para la granulación de materia les termoplásticos, para formar la envoltura aislante de alambres y cables eléctricos, para la fabricación de mangueras, tubos, etc.

En las últimas décadas la aparición y fenomenal desarrollo de los polímeros sintéticos determinó el paralelo desarrollo de la industria transformadora de plásticos, y con esta creció el conocimiento del proceso de extrusión y de los equipos necesarios (Fig. 7).

Prácticamente, casi todos los plásticos son extruidos en algún momento desde que se obtienen en la planta química de polimerización hasta que experimentan el proceso de transformación en artículos de consumo.

El órgano fundamental de una extrusionadora de plásticos puede ser un husillo, pistón o disco. Según la clase de órgano, suelen clasi

* V.K Savgorodny. Transformación de plásticos.
GILI, Gustavo, 1973, p. 2

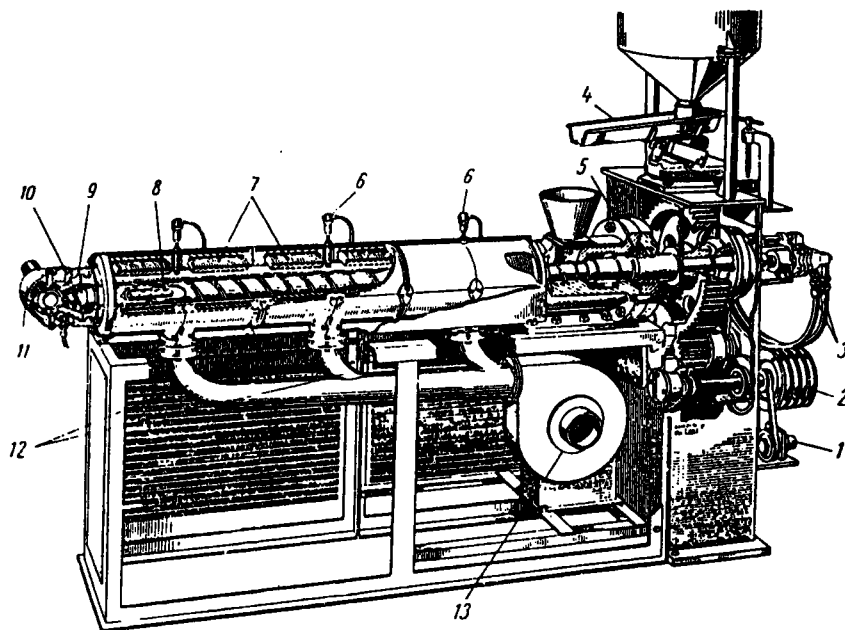


FIGURA 7. Extrusionadora con calentamiento eléctrico por inducción. *

carse en extrusionadora de pistón, de husillo, sin husillo (de disco e hidrodinámicas) y combinadas (de disco y husillo, de husillo con cámara de fusión, etc). Según la estructura del cilindro (cámaras) y el órgano de trabajo se suelen clasificar en extrusionadoras con succión por vacío y sin succión; con calentamiento eléctrico, que puede ser resistivo, inductivo, dieléctrico (por corriente de altas frecuencias); con calentamiento por diversos agentes transportadores de calor (como el agua, vapor o aceites minerales) y sin calentamiento externo.;

Básicamente para el accionamiento de las extrusionadoras suelen emplearse motores eléctricos de corriente alterna, acoplados a un variador de velocidades; de colector, de corriente alterna con varia

* SAVGORODNY. V.K. Transformación de Plásticos. Barcelona, España, Blume. 1980, p.28

ción continua de las velocidades; de corriente continua, conectados por el sistema generador motor, o los motores hidráulicos.

Las extrusionadoras de pistón y las de disco se emplean con menos frecuencia debido a la pequeña producción de las extrusionadoras de pistón y a la poca presión que desarrollan las de disco. Las de husillo sin embargo, gracias a su universalidad de aplicación, gran producción, grado de automatización y continuidad del proceso han obtenido un grado de aplicación muy extenso en la industria del plástico.

Para lograr el avance que se ha obtenido en la aplicación de las extrusionadoras de husillo para la transformación de plásticos se ha estudiado extensamente el comportamiento del plástico durante el proceso, lográndose el diseño de inyectores de gran rendimiento. En el diseño de la máquina que nos ocupa se han tenido en cuenta conclusiones, recomendaciones y experiencias de los estudios realizados en inyectoras de plástico que sirvan de guía para tener en cuenta los aspectos más importantes de éste proceso y que son asimilados al proceso de producción de fideos, para poder realizar experiencias e investigaciones que determinen el comportamiento real de la harina.

5. COMPORTAMIENTO DE LA HARINA

5.1 GENERALIDADES

Uno de los factores de mayor influencia en el gasto de potencia para este tipo de máquinas es el fuerte rozamiento que se ocasiona durante el proceso. Hay fricción entre la harina y el husillo y entre la harina y el cilindro; si esta fricción es excesiva se pierde gran cantidad de potencia generando calor que ocasiona un aumento de temperatura no aconsejable en todos los elementos de la máquina.

Rozamiento es la resistencia que surge cuando dos superficies sólidas se deslizan o tienden a deslizarse una sobre la otra. Estas superficies pueden estar secas o lubricadas.

En el primer caso cuando las superficies no contienen ningún líquido contaminante ni tampoco películas, la resistencia se llama rozamiento seco. Cuando las dos superficies que se frotan están separadas una de la otra por una delgada película de lubricante, entonces el rozamiento se denomina de superficies lubricadas o grasosas.

En ausencia de rozamiento, la resultante de las fuerzas entre las

superficies de dos cuerpos que se presionan mutuamente es normal a la superficie de contacto. Cuando el rozamiento existe, la resultante se desvía de la normal.

Si un cuerpo se presiona contra otro con la fuerza P (Figura 8) el primer cuerpo no se moverá, siempre y cuando el ángulo α comprendido entre la línea de acción de la fuerza y una normal a las superficies en contacto, no exceda cierto valor, que depende de la naturaleza de la superficie.

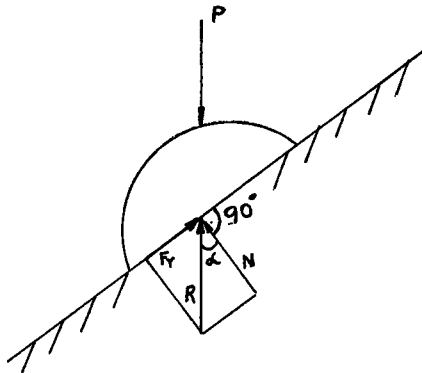


FIGURA 8. Fuerza de fricción en un plano inclinado.

La fuerza resultante R tiene la misma magnitud y línea de acción que la fuerza P . En la figura 8, R se descompone en dos componentes: una fuerza N normal a las superficies en contacto y una fuerza F_r , paralela a las superficies en contacto.

Según este enunciado se cumple que:

$$F_r < N \quad \tan \alpha < N \mu$$

En donde $\mu = \tan \alpha$ es el coeficiente de fricción de reposo; es decir, el rozamiento estático, y α el ángulo de fricción de reposo o ángulo de reposo.

Si la fuerza N se mantiene constante entre las superficies, en tanto que la fuerza tangencial F_r se incrementa gradualmente no habrá movimiento, siempre que F_r sea menor que $N\mu$. Se alcanza un estado de movimiento inminente cuando F_r se aproxima al valor de $N\mu$.

Si una superficie se desliza sobre la otra, estando presionadas entre sí por una fuerza normal N , entonces debe vencerse una fuerza de rozamiento F que se opone al movimiento. Esta fuerza generalmente es menor que F_r . La fuerza F se expresa comúnmente como $F = \mu_c N$, en donde μ_c es el coeficiente de fricción o rozamiento cinético.

Dentro de la gama de velocidades prácticas de deslizamiento, los coeficientes de rozamiento deslizante (fricción cinética) son menores que los coeficientes de rozamiento estáticos (fricción estática). Con velocidades pequeñas de deslizamiento y superficies muy limpias estos dos coeficientes no difieren mucho entre sí.

En presiones moderadas la fuerza de rozamiento es proporcional a la carga normal sobre las superficies que se rozan. Es independiente de la presión de las superficies por unidad de área. El coeficiente de fricción es, más o menos, independiente de la velocidad de frotamiento, cuando ésta es tan baja como para no afectar la temperatura

de las superficies; para alta velocidades, el coeficiente de fricción disminuye a medida que la velocidad aumenta.

Los coeficientes de rozamiento para superficies secas (rozamiento seco) depende de los materiales que se deslizan unos sobre otros y de las condiciones de pulimento de las superficies. Los coeficientes de rozamiento están afectados por las condiciones atmosféricas, como polvo, humedad, oxidación, y también por el pulido de las superficies, la velocidad de deslizamiento, la temperatura, la vibración y la amplitud de la contaminación.

Partiendo de la hipótesis de que el coeficiente de fricción varía a medida que aumenta la presión a lo largo del tornillo; que varía con el cambio de temperatura hecho imposible de aislar en este proceso; que varía con el cambio de humedad que se le da a la harina y que varía con los diferentes acabados superficiales del cilindro y husillo, se determina la variación de dicho coeficiente bajo esos parámetros.

Lo más importante no es encontrar un dato o un valor exacto del coeficiente de fricción, para aplicarlo en una fórmula determinada en la cual se pueda encontrar datos necesarios para el diseño de la máquina. Lo interesante es poder determinar el comportamiento de este coeficiente en forma general, de tal manera que además de hacerse una idea para lograr un rozamiento mínimo en la máquina, queden unos datos de consulta para trabajos o investigaciones poste

riores.

5.2 ENSAYOS REALIZADOS

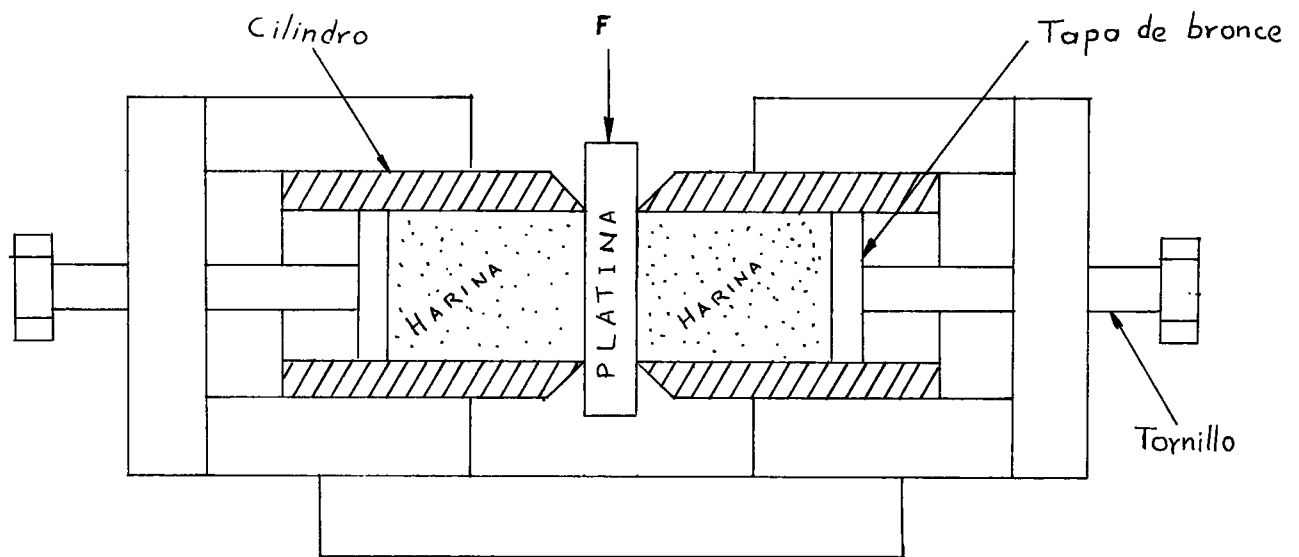
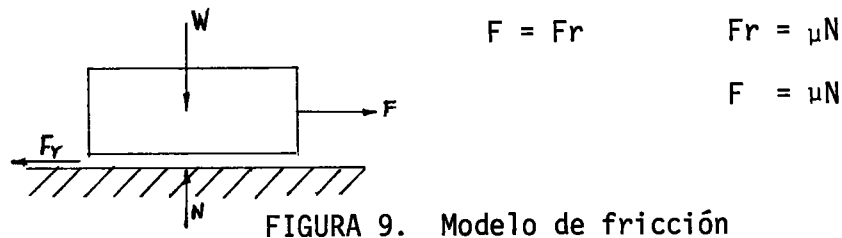
Debido a la gran cantidad de parámetros que inciden en el rozamiento, se hace necesario determinar los de mayor influencia en el proceso de extrusión de la harina. Es así como se determina investigar el comportamiento del coeficiente de fricción con las siguientes variables:

- Presión: porque durante el proceso de extrusión se causan diferentes presiones a lo largo del tornillo.
- Humedad: porque esta se comporta como un lubricante junto con las grasas naturales que trae la harina.
- Temperatura: porque en estos procesos hay mucha fricción y por lo tanto calentamientos, en ocasiones excesivos.
- Rugosidad superficial: porque el acabado que se le da tanto al cilindro como al tornillo influyen en el arrastre del material y en el valor del coeficiente de fricción.

Tratando de acercarnos al proceso real, se precisa, para realizar los ensayos, dejar dos de los parámetros estables o fijos, y variar uno de ellos encontrando bajo estas condiciones la variación del

coeficiente de fricción con diferentes presiones de trabajo.

Se diseñó un dispositivo para encontrar la fuerza de fricción, basado en el modelo tradicional de fricción: Fig. 9.



En la Figura 10 se observa la manera como se consigue comprimir la harina contra una platina central que se puede calentar haciendo uso de una resistencia, cuya temperatura es controlada con una termostato previamente calibrado a la temperatura deseada. Teniendo tres

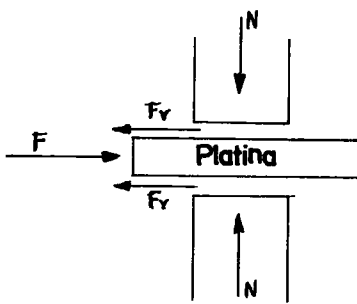
platinas con diferente acabado superficial, se mide la influencia de ese parámetro. (acabado superficial). La harina colocada dentro de los cilindros debe ser exactamente de igual cantidad. Los tornillos que comprimen la harina deben ser desplazados en distancias iguales para garantizar una presión igual en ambos cilindros.

Después de comprimida la harina contra la platina central, se aplica una fuerza a ésta, haciendo uso de la máquina universal de tracción, en la cual queda registrada la fuerza necesaria para lograr el movimiento de la platina.

Queda por determinar la fuerza que ejerce la harina contra la platina, que será la fuerza normal del modelo de fricción. Se logra ese objetivo, comprimiendo previamente harina en un cilindro y registrando el porcentaje de volumen comprimido por fuerza aplicada para tal efecto,. graficando los resultados.

En el dispositivo de la figura 10 se calcula el porcentaje de volumen que se reduce la harina al girar el tornillo de compresión, midiendo el desplazamiento de los "pistones", desde el extremo del cilindro, haciendo uso de un calibrador. Se calcula así muy fácilmente, el porcentaje de volumen reducido con respecto al volumen inicial previamente medido. Posterior a ésto se aplica la fuerza F para lograr el movimiento de la platina. Con los datos del porcentaje de volumen reducido se entra al gráfico realizado obteniendo la fuerza que ha sido aplicada en ese momento.

Por lo tanto:



$$F = 2F_r \quad \rightarrow \quad F = 2\mu N$$

$$F_r = \mu N$$

Conocemos los valores de F y N

$$\rightarrow \mu = \frac{F}{2N}$$

FIGURA 11. Modelo para calcular μ

Como se dijo antes los parámetros a variar son la humedad, la temperatura, la presión y el acabado superficial.

Para lograr la variación de la temperatura se inserta en las platinas una resistencia tubular que se coloca en serie con el termostato, la temperatura la medimos con un termómetro termocupla insertado en la platina (Ver Figura 12).

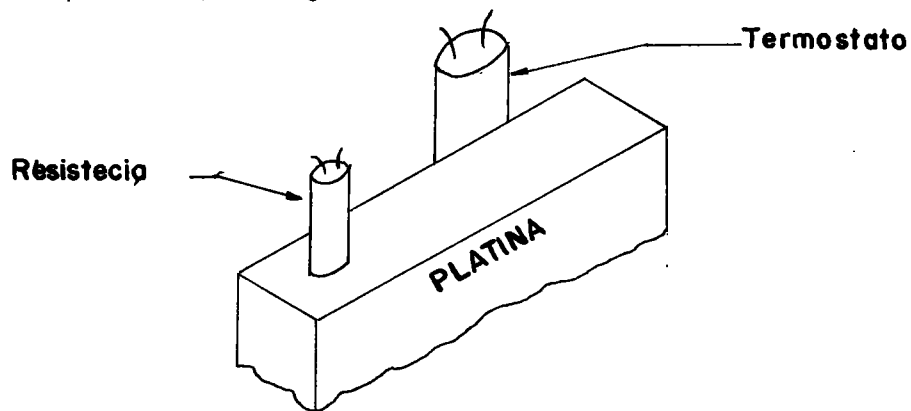


FIGURA 12. Control de temperatura en la platina.

El circuito formado fue el siguiente:

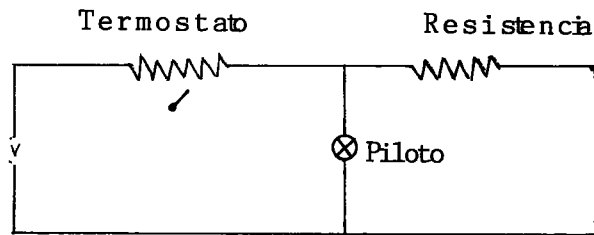


FIGURA 13. Circuito Eléctrico

El termostato, como su nombre lo indica, trabaja en base a la temperatura que alcanza la platina; se calibra a una determinada temperatura y cuando la platina alcanza ese valor se interrumpe el paso de la corriente con lo que la resistencia comienza a enfriarse hasta el punto que el termostato detecta la baja temperatura dando paso nuevamente a la corriente para elevar la temperatura. Es importante colocar en el circuito un bombillo piloto que informe el perfecto funcionamiento del sistema. Se realiza el ensayo con tres valores diferentes de la temperatura que son representativos para el efecto.

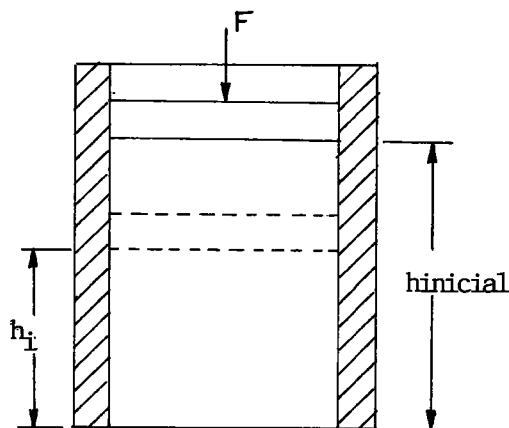
Se investiga la influencia de la rugosidad en el acabado superficial para tomarse una idea de posibles procedimientos tecnológicos para construir el cilindro y el husillo. Se construyeron tres platinas con diferente acabado superficial midiendo su valor en un rugosímetro obteniendo los valores que aparecen en las tablas.

Considerando el carácter irregular de los perfiles de la superficie, para valorar cuantitativamente la rugosidad sería necesario efectuar un gran número de mediciones. Para evitar tanta pérdida de tiempo se han introducido parámetros, ligados estadísticamente a la amplitud de las desviaciones y a la forma del perfil, cuya amplitud

se toma como medida de la rugosidad. La rugosidad puede estar expresada en micropulgadas, según las normas anglosajonas denominándose $\mu\text{in AA}$, donde AA significa Aritmética Average (media aritmética).

Se encuentra por experimentación que los valores de las fuerzas o presiones alcanzadas para una misma reducción de volumen en muestras con diferente humedad, varían ostensiblemente. Ocurre esto porque al tomar mayor humedad la harina se esponja ocupando un mayor volumen y comprimiéndose con menores fuerzas aplicadas. Lo anterior obliga a realizar una curva para cada humedad en un gráfico de porcentaje de volumen reducido vs fuerza aplicada, en el cual se consulte la fuerza o presión a que está sometida la harina cuando se trabaja con el dispositivo de la Figura 10.

Para encontrar la variación de volumen con fuerzas aplicadas, se usa un cilindro como el de la figura 14,



$$\emptyset \text{ cilindro} = 3.8 \text{ cms}$$

$$A_{\text{cilindro (transversal)}} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (3.8 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A_c = 11.34 \text{ cm}^2$$

FIGURA 14. Cilindro para determinar la variación de volumen.

Por cada F aplicada se tomó el valor de h_i y así se encuentra el

el volumen respectivo

$$V_i = h_i \times A$$

Los datos aparecen en las tablas 1,2 y 3

TABLA 1 Variación de volumen por fuerza aplicada
Humedad (1)*

FUERZA	AREA	ALTURA h_i cm.	V Cm^3	V%
0	11.34	5.69	64.63	100
500	11.34	2.79	31.66	49
1000	11.34	2.39	27.14	42
1500	11.34	2.27	25.85	40
2000	11.34	2.22	25.20	39
3000	11.34	2.16	24.55	38

* Debido a la dificultad para determinar con exactitud la humedad de la harina preparada, llamamos humedad 1 a la harina preparada con la menor cantidad de agua en volumen,

TABLA 2 Variación de volúmen por fuerza aplicada
Humedad (2)*

FUERZA	AREA	ALTURA hi cm	V cm ³	V%
0	11.34	5.69	64.63	100
400	11.34	2.58	29.27	45.3
700	11.34	2.31	26.23	40.6
1100	11.34	2.23	25.39	39.3
2500	11.34	2.18	24.75	38.3
3000	11.34	2.10	23.91	37

TABLA 3 Variación de volúmen por fuerza aplicada
Humedad (3)**

FUERZA	AREA	ALTURA hi cm	V cm ³	V%
0	11.34	5.69	64.63	100
500	11.34	2.07	23.58	36.5
1000	11.34	1.99	22.62	35
2000	11.34	1.85	21.00	32.5
3000	11.34	1.78	20.22	31.3
3500	11.34	1.69	19.19	29.7

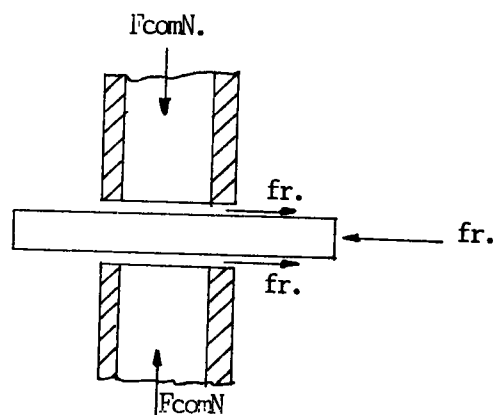
* Identificamos con humedad 2 a la harina preparada con mayor cantidad de agua que la humedad 1, pero menor cantidad de agua que la humedad 3.

** La harina con mayor cantidad de agua en volúmen.

con los datos que aparecen en la tabla, tabla 2 y tabla 3 contruyen el gráfico 16, gráfico 17 y gráfico 18, respectivamente, usados posteriormente para determinar las fuerzas de compresión en los cilindros.

A continuación aparecen las tablas de datos de los ensayos en lso que se varía la rugosidad o acabado superficial de la platina sobre la que se encuentra el coeficiente de roza miento, la temperatura de la misma platina, la humedad de la harina y la presión ejercida sobre la harina.

Para encontrar el coeficiente de fricción (μ) se tiene:



$$fr = \mu N$$

$$Fr = 2 fr$$

$$Fr = 2 \mu N$$

$$\mu = \frac{Fr}{2N}$$

FIGURA 15 Fuerzas generadas

* Rugosidad no medible en el rugosímetro utilizado

Aclaración de la nomenclatura utilizada en las tablas y gráficos:

R : Rugosidad R1 : Rugosidad 1 acabado superficial 45 min AA
T : Temperatura R2: Rugosidad 2 acabado superficial 105 min AA
H : Humedad R3: Rugosidad 3 acabado superficial fuera de rango*
H1 : Humedad TA: Temperatura ambiente
H2 : Humedad 2 T1: Temperatura 150°F
H3 : Humedad 3 T2: Temperatura 200°F
T3: Temperatura 230°F

TABLA 4

Humedad (1); R1, TA

V cm ³	V %	Fr	Fcomp.N	u
64.63	100	0	0	0
31.66	49	540	500	0.54
29.08	45	780	700	0.55
27.14	42	1200	1000	0.60
26.30	40.7	1500	1300	0.57
25.85	40	1600	1500	0.53
25.20	39	1900	2000	0.47
				0.54
				= uprom

TABLA 5 R1 - TA

Humedad (2):

V Cm ³	V %	Fr	F comp.N	u
64.63	100	0	0	0
29.59	45.78	380	425	0.44
28.17	43.6	490	500	0.49
27.10	41.93	700	620	0.56
25.90	40.1	850	830	0.51
25.62	39.64	1000	1070	0.46
23.92	37.01	1610	3500	0.23
				0.44=uprom

TABLA 6 R1 - T.A.

Humedad (3)

$V \text{ cm}^3$	$V\%$	Fr	Fcomp.N	μ
64.63	100	0	0	0
26.42	40.87	420	500	0.42
23.46	36.3	490	550	0.44
23.13	35.78	930	800	0.58
22.36	34.6	1100	1100	0.50
21.20	32.80	1350	1920	0.35
19.84	30.69	1420	3500	<u>0.20</u>
				0.41= μ_{prom}

TABLA 7 R2 - TA

Humedad (1)

$V \text{ cm}^3$	$V\%$	Fr	Fcomp.N	μ
64.63	100	0	0	0
31.66	49	570	500	0.57
29.48	45.61	800	650	0.61
27.66	42.79	1100	925	0.59
26.04	40.30	1480	1400	0.52
24.94	38.58	2200	2430	0.45
24.38	37.72	2400	300	<u>0.40</u>
				0.52= μ_{prom}

TABLA 8 R2 - TA

Humedad (2)

V_{cm^3}	$V\%$	Fr	$F_{comp.N}$	μ
64.63	100	0	0	0
29.25	45.25	450	400	0.56
28.11	43.50	600	510	0.58
26.98	41.74	790	625	9.63
25.51	39.47	1130	1025	0.55
25.20	39.00	1630	1700	0.48
23.24	35.95	1750	3500	<u>0.25</u>
				0.50= μ_{prom}

TABLA 9 R2 - TA

Humedad (3)

V_{cm^3}	$V\%$	Fr	$F_{comp.N}$	μ
64.63	100	0	0	0
26.98	41.74	430	450	0.47
24.94	38.58	510	500	0.51
22.79	35.26	980	950	0.51
22.29	34.50	1200	1200	0.50
21.65	33.49	1530	1625	0.47
21.32	33.00	1590	1760	<u>0.45</u>
				0.48= μ_{prom}

TABLA 10 R3 - TA

Humedad (1)

V_{cm^3}	$V\%$	Fr	Fcomp.N	$\bar{\mu}$
64.63	100	0	0	0
29.82	46.13	690	600	0.57
28.63	44.30	890	760	0.58
26.98	41.74	1220	1050	0.58
25.85	40.00	1650	1500	0.55
25.62	39.64	1860	1725	0.53
24.26	37.53	2450	300	<u>0.40</u>
				0.53= μ_{prom}

TABLA 11 R3 - TA

Humedad (2)

V_{cm^3}	$V\%$	Fr	Fcomp.N	$\bar{\mu}$
64.63	100	0	0	0
30.27	46.83	430	400	0.53
28.69	44.39	570	450	0.63
27.92	43.20	630	530	0.58
27.55	42.62	650	570	0.57
25.51	39.47	1300	1125	0.57
25.20	39.00	1720	2000	<u>0.43</u>
				0.55= μ_{prom}

TABLA 12 R3 - TA

Humedad (3)

$\bar{V} \text{ cm}^3$	$\bar{V}\%$	\bar{F}_r	$\bar{F}_{\text{comp.N}}$	$\bar{\mu}$
64.63	100	0	0	0
27.66	42.79	480	450	0.53
25.85	39.99	590	480	0.61
24.49	37.89	600	520	0.57
23.13	35.78	1100	880	0.56
22.29	34.50	1300	1200	0.54
21.69	33.50	1640	1600	$\frac{0.51}{0.55} = \mu_{\text{prom}}$

TABLA 13 R1 - H1

Temperatura : 150°F

$\bar{V} \text{ cm}^3$	$\bar{V}\%$	\bar{F}_r	$\bar{F}_{\text{comp.N}}$	$\bar{\mu}$
64.63	100	0	0	0
28.57	44.20	600	780	0.38
26.53	41.04	1060	1200	0.44
25.51	39.47	1460	1700	0.42
25.33	39.20	1500	1900	0.39
25.07	38.80	1540	2160	0.35
24.88	38.50	1630	2540	$\frac{0.32}{0.38} = \mu_{\text{prom}}$

TABLA 14 R1 - H1

Temperatura: 200°F

$\bar{V} \text{ cm}^3$	$\bar{V}\%$	\bar{F}_r	$\bar{F}_{\text{comp.N}}$	$\bar{\mu}$
64.63	100	0	0	0
28.57	44.20	580	780	0.37
26.98	41.74	920	1050	0.43
25.96	40.16	1120	1470	0.38
25.33	39.20	1240	1840	0.33
24.94	38.60	1300	2380	0.27
24.04	37.19	1380	3000	<u>0.23</u>
				0.33= μ_{prom}

TABLA 15 R1 - H1

Temperatura : 230°F

$\bar{V} \text{ cm}^3$	$\bar{V}\%$	\bar{F}_r	$\bar{F}_{\text{comp.N}}$	$\bar{\mu}$
64.63	100	0	0	0
30.16	46.66	470	550	0.42
27.21	42.10	1050	970	0.54
26.42	40.87	1390	1300	0.53
25.39	39.30	1400	1750	0.40
25.07	38.80	1470	2100	0.35
22.87	35.40	1500	3000	<u>0.35</u>
				0.41= μ_{prom}

TABLA 16 R2 - H1

Temperatura 150°F

ψ_{cm}^3	$\overline{V\%}$	\overline{Fr}	$\overline{Fcomp.N}$	$\overline{\mu}$
64.63	100	0	0	0
31.63	48.94	600	500	0.60
27.55	42.62	1100	920	0.59
26.19	40.52	1600	1350	0.59
25.52	39.50	1920	1680	0.57
25.20	39.00	2080	1980	0.53
24.83	38.41	2100	2620	<u>0.40</u>
				0.54= μ_{prom}

TABLA 17 R2 - H1

Temperatura: 200°F

ψ_{cm}^3	$V\%$	Fr	$Fcomp.N$	μ
64.63	100	0	0	0
29.59	45.78	580	630	0.46
27.89	43.10	910	870	0.51
26.30	40.69	1350	1320	0.51
25.40	39.31	1500	1740	0.43
25.16	38.93	1540	2020	0.38
23.47	36.31	1450	3000	<u>0.24</u>
				0.42

TABLA 18 R2 - H1

Temperatura: 230°F

$\bar{V} \text{ cm}^3$	$\bar{V}\%$	\bar{Fr}	$\bar{F}_{comp.N}$	$\bar{\mu}$
64.63	100	0	0	0
32.96	51.00	460	490	0.46
30.39	47.02	600	520	0.57
26.08	40.35	1250	1450	0.43
25.62	39.64	1410	1720	0.40
25.20	39.00	1400	2000	0.35
23.91	36.84	1600	3000	<u>0.26</u>
				0.41

TABLA 19 R3 - H1

Temperatura: 150°F

$\bar{V} \text{ cm}^3$	$\bar{V}\%$	\bar{Fr}	$\bar{F}_{comp.N}$	$\bar{\mu}$
64.63	100	0	0	0
29.59	45.78	754	650	0.58
26.30	40.69	1460	1300	0.56
25.51	39.42	1770	1700	0.52
25.41	39.32	1880	1880	0.50
24.96	38.63	2030	2200	0.46
24.94	33.58	2100	2500	<u>0.42</u>
				0.50= μ_{prom}

TABLA 20 R3 - H1

Temperatura 200°F

V_{cm}^3	$V\%$	Fr	Fcomp.N	μ
64.63	100	0	0	0
31.41	48.59	500	520	0.48
28.00	43.32	930	870	0.53
26.76	41.40	1200	1120	0.53
25.74	39.82	1580	1600	0.49
25.14	38.91	1760	2000	0.44
24.88	38.51	1830	2400	<u>0.38</u>
				0.47= μ_{prom}

TABLA 21 R3 - H1

Temperatura : 230°F

V_{cm}^3	$V\%$	Fr	Fcomp.N	μ
64.63	100	0	0	0
29.71	45.96	550	600	0.45
27.44	42.45	900	930	0.48
26.08	40.35	1310	1420	0.46
25.74	39.82	1410	1600	0.44
24.96	38.62	1570	2120	0.37
24.83	38.42	1550	2540	<u>0.30</u>
				0.41= μ_{prom}

TABLA 22 R1 - H2

Temperatura: 150°F

$V \text{ cm}^3$	$V\%$	Fr	Fcomp.N	μ
64.63	100	0	0	0
30.50	47.19	400	520	0.38
27.10	41.93	700	980	0.35
25.28	39.13	950	1480	0.32
24.95	38.61	1300	2160	0.30
24.15	37.36	2000	3500	0.28
22.22	34.38	2200	4000	<u>0.27</u>
				0.31= μ_{prom}

TABLA 23 R1 - H2

Temperatura: 200°F

$V \text{ cm}^3$	$V\%$	Fr	Fcomp.N	μ
64.63	100	0	0	0
29.03	44.91	350	700	0.25
26.30	40.69	600	1320	0.22
25.14	38.91	690	1800	0.19
24.78	38.35	870	2400	0.18
23.81	36.84	1200	3500	0.17
21.54	33.32	1270	4000	<u>0.15</u>
				0.19= μ_{prom}

TABLA 24 R1 - H2

Temperatura : 230°F

$V \text{ cm}^3$	$V\%$	Fr	Fcomp.N	μ
64.63	100	0	0	0
29.93	46.30	340	600	0.28
27.78	42.98	580	880	0.32
24.94	38.58	1100	2250	0.24
24.77	38.33	1120	2500	0.22
23.91	37.00	1300	3600	0.18
22.11	34.21	1250	4000	<u>0.15</u>
				0.23= μ_{prom}

TABLA 25 R2 - H2

Temperatura : 150°F

$V \text{ cm}^3$	$V\%$	Fr	Fcomp.N	μ
64.63	100	0	0	0
30.16	46.66	500	550	0.45
27.89	43.15	800	870	0.45
26.30	40.69	1400	1320	0.53
25.20	39.00	1590	1725	0.46
24.92	38.57	1600	2050	0.39
24.26	37.53	1480	3200	<u>0.23</u>
				0.41= μ_{prom}

TABLA 26 R2 - H2

Temperatura 200°F

$V \text{ cm}^3$	$V\%$	Fr	Fcomp.N	μ
64.63	100	0	0	0
28.00	43.32	500	870	0.28
25.36	39.24	760	1460	0.26
25.28	39.11	950	1970	0.24
24.34	37.67	1260	3000	0.21
23.81	36.84	1400	3500	0.20
22.79	35.26	1310	4000	<u>0.16</u>
				0.22= μ_{prom}

TABLA 27 R2 - H2

Temperatura 230°F

$V \text{ cm}^3$	$V\%$	Fr	Fcomp.N	μ
64.63	100	0	0	0
28.80	44.56	360	750	0.24
26.08	40.35	630	1420	0.22
25.14	38.91	760	1800	0.21
24.97	38.65	920	2300	0.20
24.38	37.72	1100	2880	0.19
23.13	35.78	1310	3600	<u>0.18</u>
				0.20= μ_{prom}

TABLA 28 R3 - H2

Temperatura 150°F

$V \text{ cm}^3$	$V\%$	\overline{Fr}	$\overline{Fcomp.N}$	$\overline{\mu}$
64.63	100	0	0	0
29.59	45.78	600	650	0.46
27.55	42.62	900	920	0.48
26.42	40.87	1490	1300	0.57
25.21	39.01	1550	1720	0.45
25.03	38.73	1520	2000	0.38
24.17	37.41	1920	3200	<u>0.30</u>
				0.44= μ_{prom}

TABLA 29 R3 - H2

Temperatura: 200°F

$V \text{ cm}^3$	$V\%$	Fr	$Fcomp.N$	μ
64.63	100	0	0	0
30.05	46.49	480	550	0.43
28.12	43.50	750	830	0.45
26.87	41.57	980	1070	0.45
26.08	40.35	1230	1400	0.43
25.01	38.71	1420	1860	0.38
24.55	38.00	1740	2800	<u>0.31</u>
				0.40= μ_{prom}

TABLA 30 R3 - H2

Temperatura 230°F

$\bar{V} \text{ cm}^3$	$\bar{V}\%$	Fr	Fcomp.N	μ
64.63	100	0	0	0
29.48	45.61	600	650	0.46
28.57	44.20	710	770	0.46
27.10	41.93	930	1000	0.46
25.96	40.16	1300	1470	0.44
24.99	38.68	1640	2000	0.41
24.77	38.33	2030	2600	<u>0.39</u>
				0.43= μ_{prom}

TABLA 31 R1 - H3

Temperatura 150°F

$\bar{V} \text{ cm}^3$	$\bar{V}\%$	Fr	Fcomp.N	μ
64.63	100	0	0	0
23.92	37.01	500	650	0.38
22.68	35.09	650	1000	0.32
21.81	33.75	880	1460	0.30
20.86	32.27	1380	2370	0.29
20.24	31.33	1470	3060	0.24
18.82	29.11	1490	4000	<u>0.18</u>
				0.28= μ_{prom}

TABLA 32 R1 - H3

Temperatura: 200°F

$V \text{ cm}^3$	$V\%$	Fr	$F_{comp.N}$	μ
64.63	100	0	0	0
24.72	38.24	520	570	0.45
22.83	35.33	690	900	0.38
22.26	34.45	750	1200	0.31
21.65	33.49	780	1600	0.24
19.84	30.69	1310	3480	0.18
17.91	27.71	1380	4000	<u>0.17</u>
				0.28= μ_{prom}

TABLA 33

Temperatura 230°F

$V \text{ cm}^3$	$V\%$	Fr	$F_{comp.N}$	μ
64.63	100	0	0	0
25.51	39.47	400	470	0.42
23.26	36.00	550	700	0.39
22.75	35.21	640	960	0.33
22.45	34.73	650	1100	0.29
20.29	31.39	1300	3120	0.20
19.16	29.64	1350	4000	<u>0.16</u>
				0.29= μ_{prom}

TABLA 34 R2 - H3

Temperatura 150°F

$V \text{ cm}^3$	$V\%$	Fr	Fcomp.N	μ
64.63	100	0	0	0
26.98	41.74	330	500	0.33
23.47	36.31	800	730	0.54
22.03	34.09	1200	1350	0.44
20.97	32.44	1360	2000	0.34
20.46	31.66	1370	2760	0.24
19.73	30.52	1460	3500	<u>0.20</u>
				0.34= μ_{prom}

TABLA 35 R2 - H3

Temperatura 200°F

$V \text{ cm}^3$	$V\%$	Fr	Fcomp.N	μ
64.63	100	0	0	0
25.62	39.64	400	500	0.40
23.13	35.78	660	800	0.41
22.17	34.31	1010	1260	0.40
21.54	33.32	1200	1620	0.37
20.68	32.00	1290	2480	0.26
20.07	31.05	1300	3250	<u>0.20</u>
				0.34= μ_{prom}

TABLA 36 R2 - H3

Temperatura 230°F

\bar{V} cm ³	$\bar{V}\%$	\bar{F}_r	$\bar{F}_{comp.N}$	$\bar{\mu}$
64.63	100	0	0	0
26.42	40.87	340	500	0.34
23.47	36.31	730	700	0.52
21.75	33.66	1190	1520	0.39
21.01	32.51	1270	1980	0.32
20.75	32.10	1290	2450	0.26
18.71	28.94	1340	4000	<u>0.16</u>
				0.33= μ_{prom}

TABLA 37 R3 - H3

Temperatura 150°F

\bar{V} cm ³	$\bar{V}\%$	\bar{F}_r	$\bar{F}_{comp.N}$	$\bar{\mu}$
64.63	100	0	0	0
26.76	41.40	430	500	0.43
24.15	37.36	600	620	0.48
22.56	34.90	900	1000	0.45
22.14	34.27	1100	1300	0.42
21.31	32.97	1460	1770	0.41
20.68	32.00	1900	2500	<u>0.38</u>
				0.42= μ_{prom}

TABLA 38

Temperatura 200°F

$V \text{ cm}^3$	$V\%$	Fr	Fcomp.N	μ
64.63	100	0	0	0
28.35	43.86	420	500	0.42
27.89	43.15	530	550	0.48
26.08	40.35	700	770	0.45
22.14	34.27	910	1220	0.37
21.05	32.58	1220	1960	0.31
20.68	32.00	1430	2500	<u>0.28</u>
				0.38= μ_{prom}

TABLA 39 R3 - H3

Temperatura 230°F

$V \text{ cm}^3$	$V\%$	Fr	Fcomp.N	μ
64.63	100	0	0	0
27.89	43.15	430	550	0.39
26.87	41.57	570	630	0.45
22.40	34.66	860	1100	0.39
21.72	33.61	1040	1570	0.33
21.06	32.59	1060	1980	0.26
23.58	30.42	1450	3600	<u>0.20</u>
				0.33= μ_{prom}

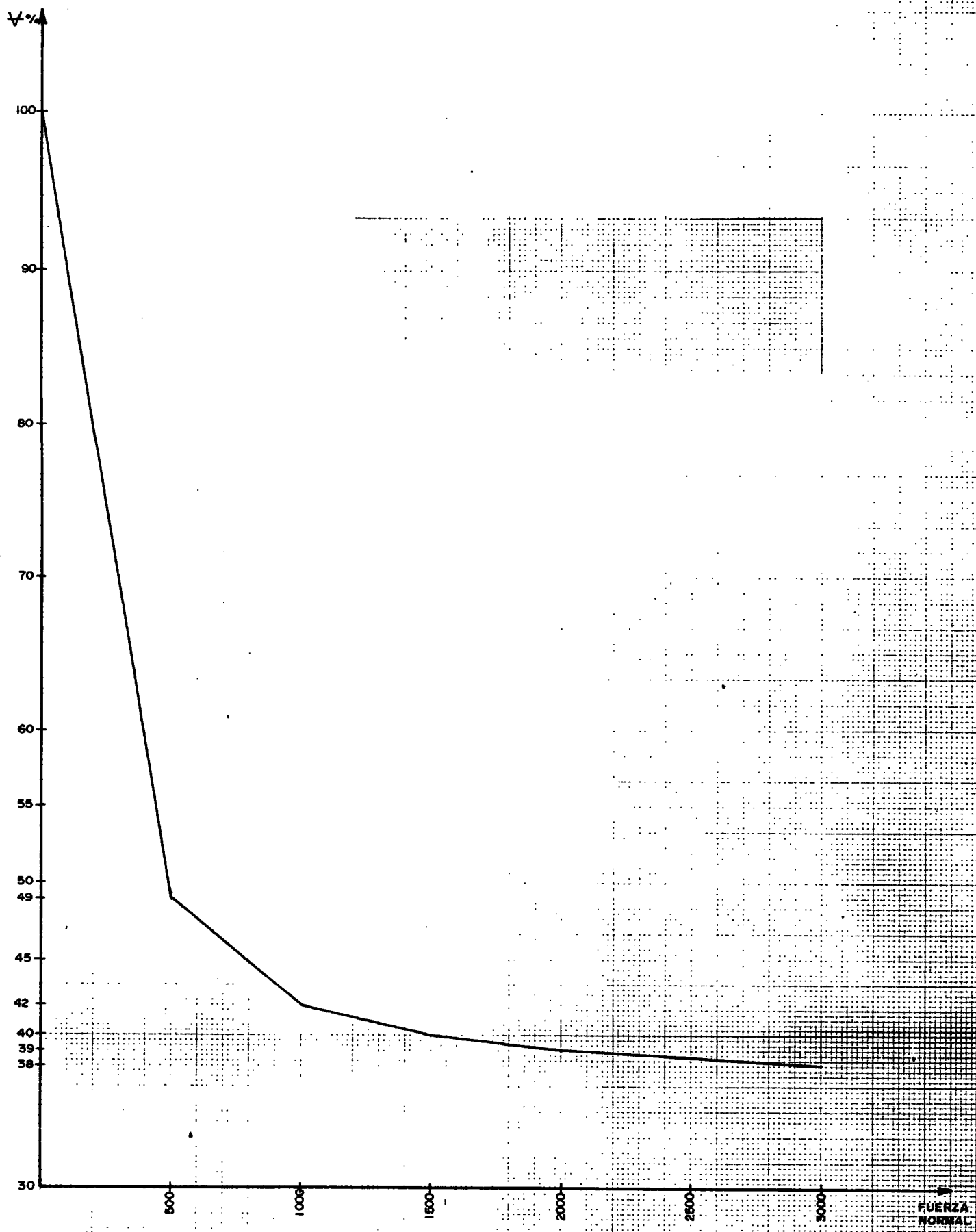


FIGURA 16 Variación de volumen por fuerza aplicada. Volúmen inicial 64.63 cm^3 , Humedad 1. temperatura ambiente.

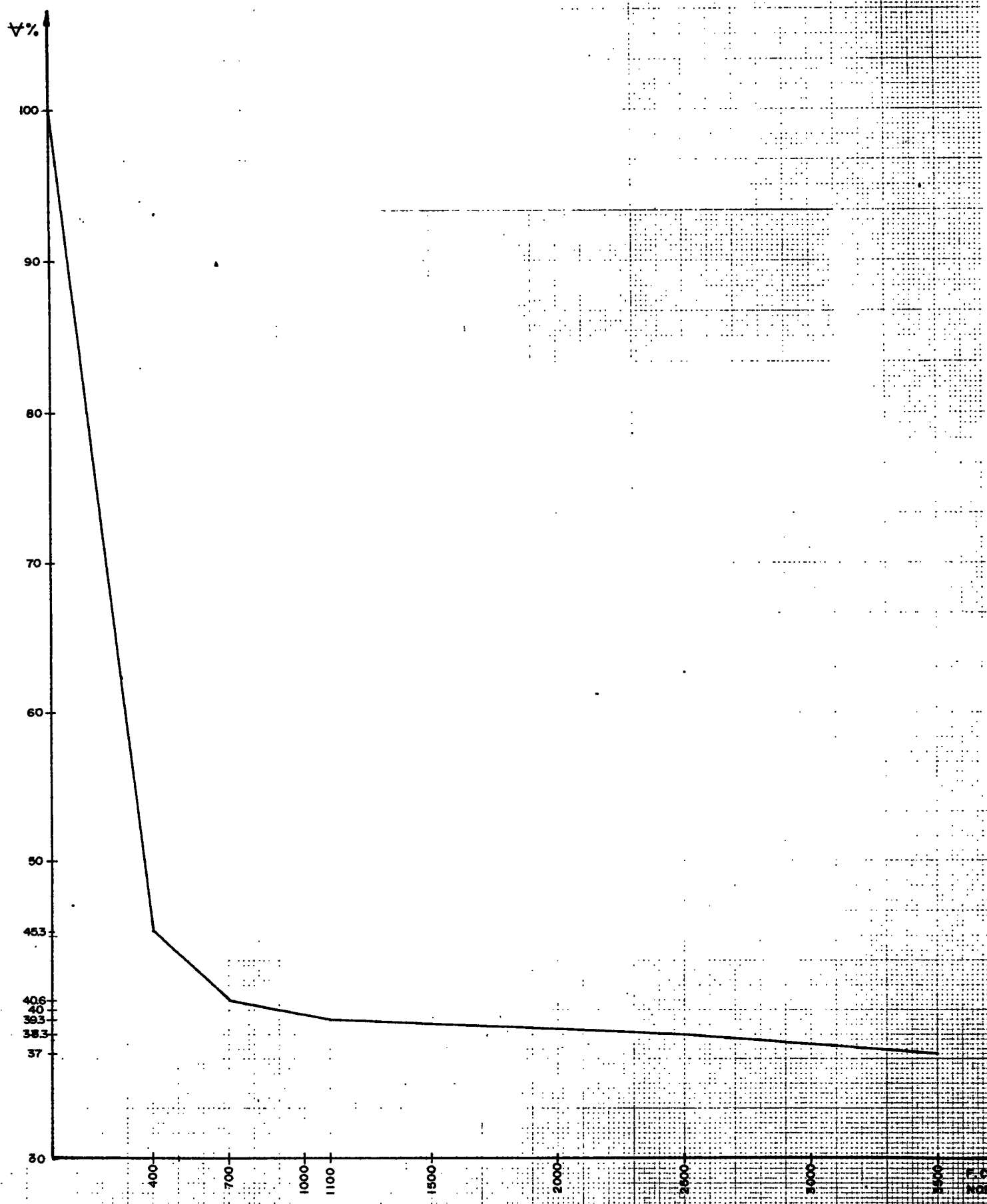


FIGURA 17 Variación de volumen por fuerza aplicada. Humedad 2.
 Volúmen inicial 64.63 cm^3 . Temperatura ambiente.

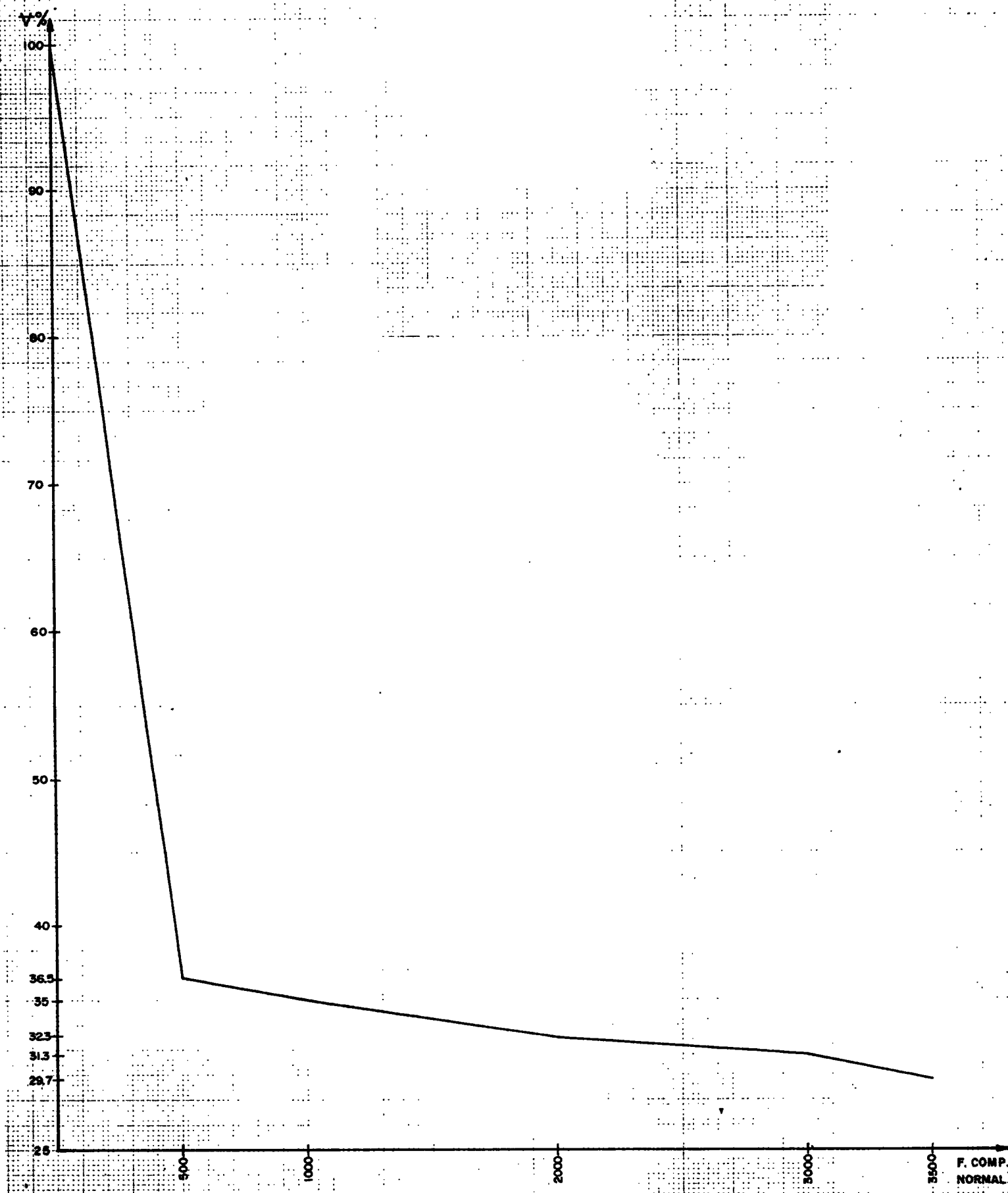


FIGURA 18 Variación de volumen por fuerza aplicada. Humedad 3. volumen inicial 6.63 cm^3 . Temperatura ambiente.

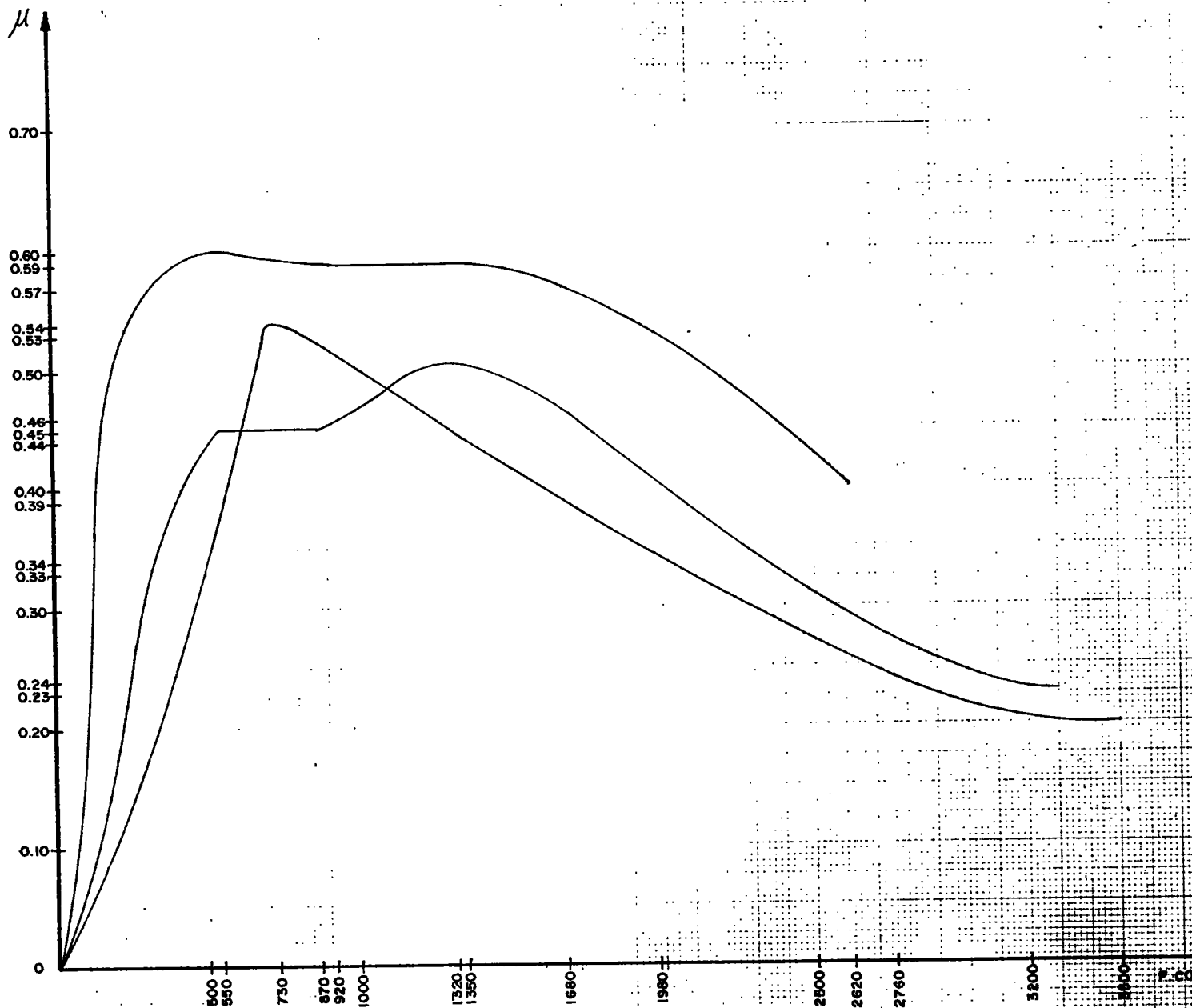


FIGURA 19 Variación de μ . Con la humedad.
Rugosidad 2. Temperatura 15°F

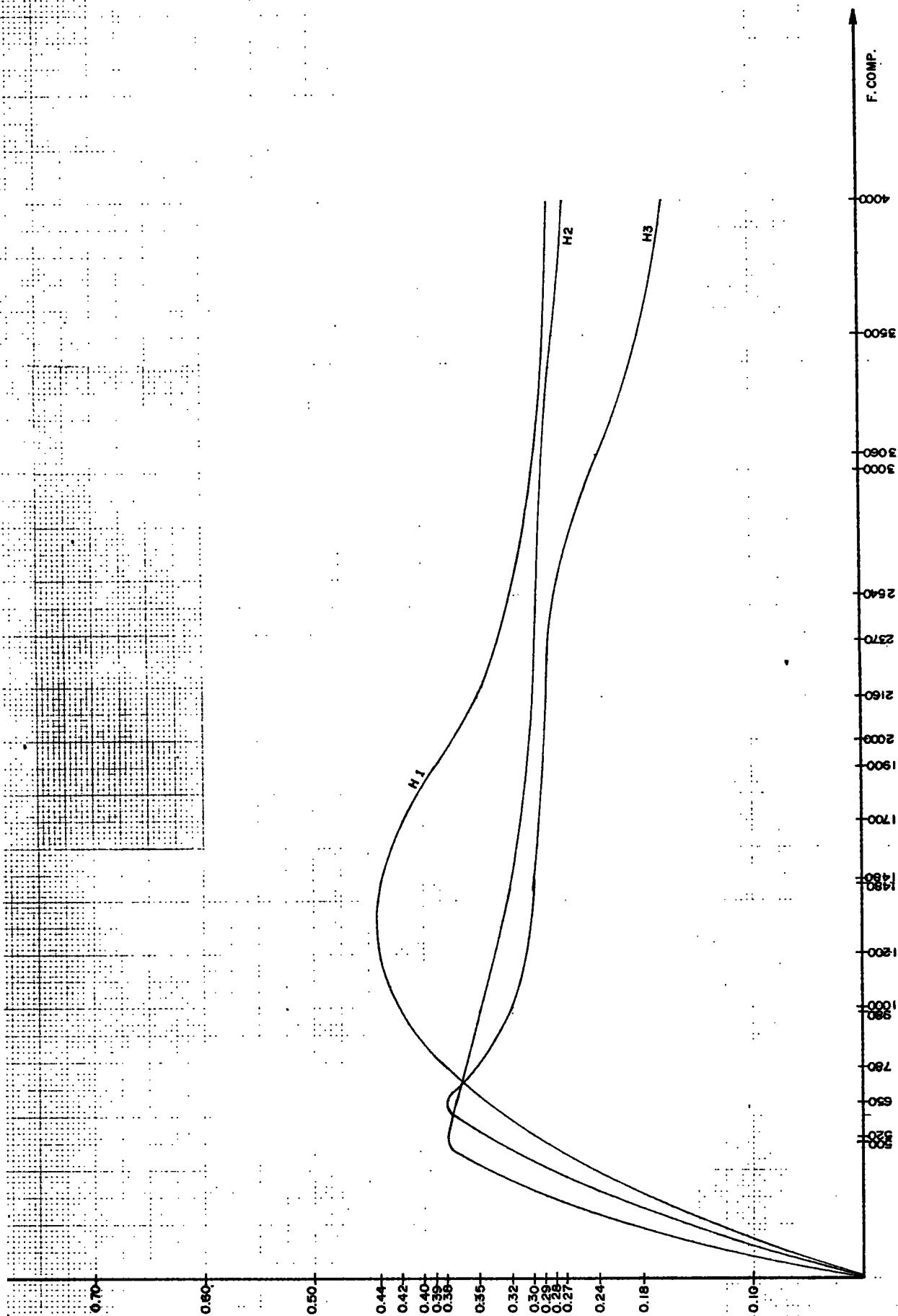


FIGURA 20 Variación de u con la humedad. Rugosidad 1, temperatura 150°F

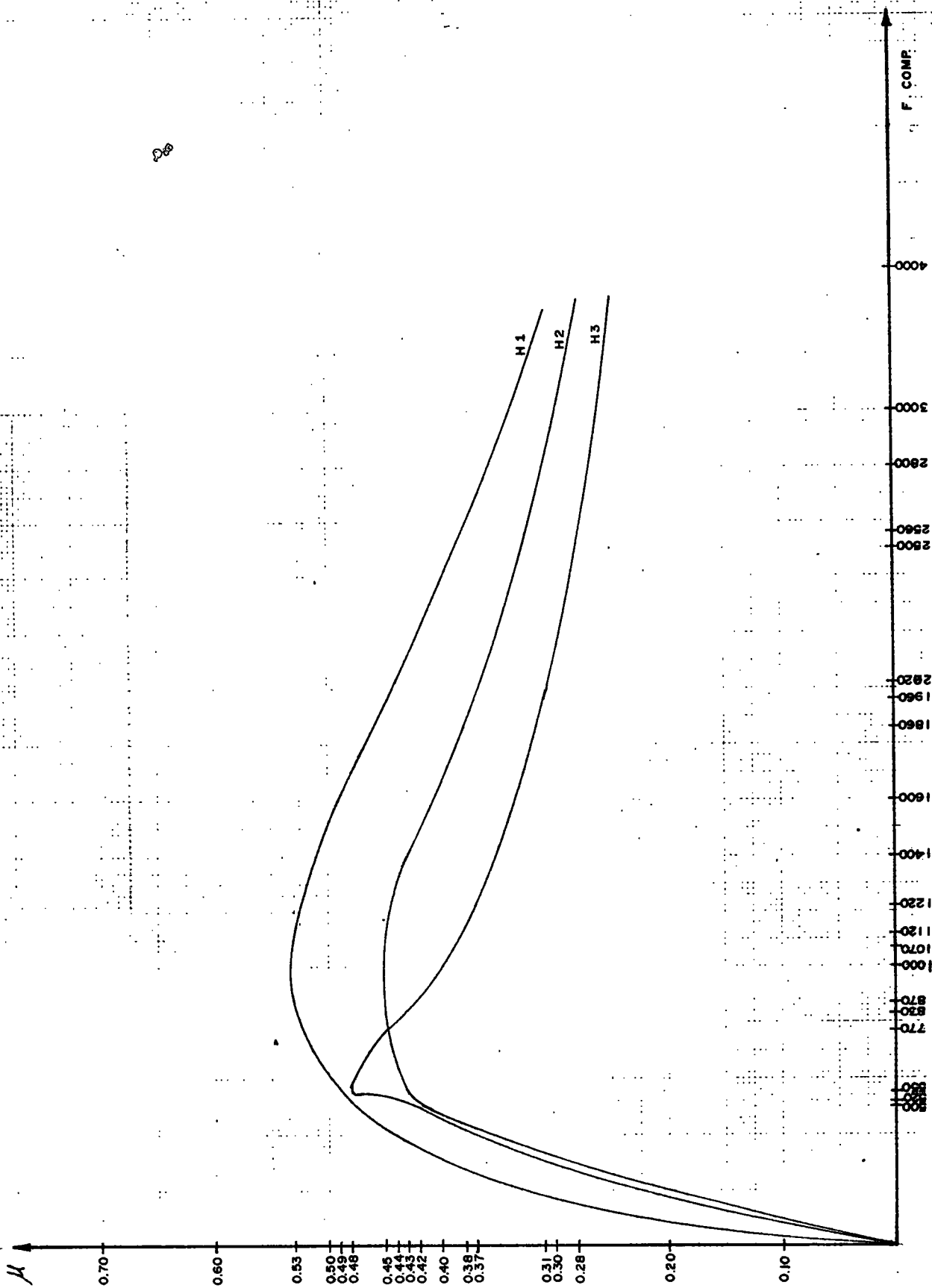


FIGURA 21 Variación de μ con la humedad. Rugosidad 3, temperatura 200°F

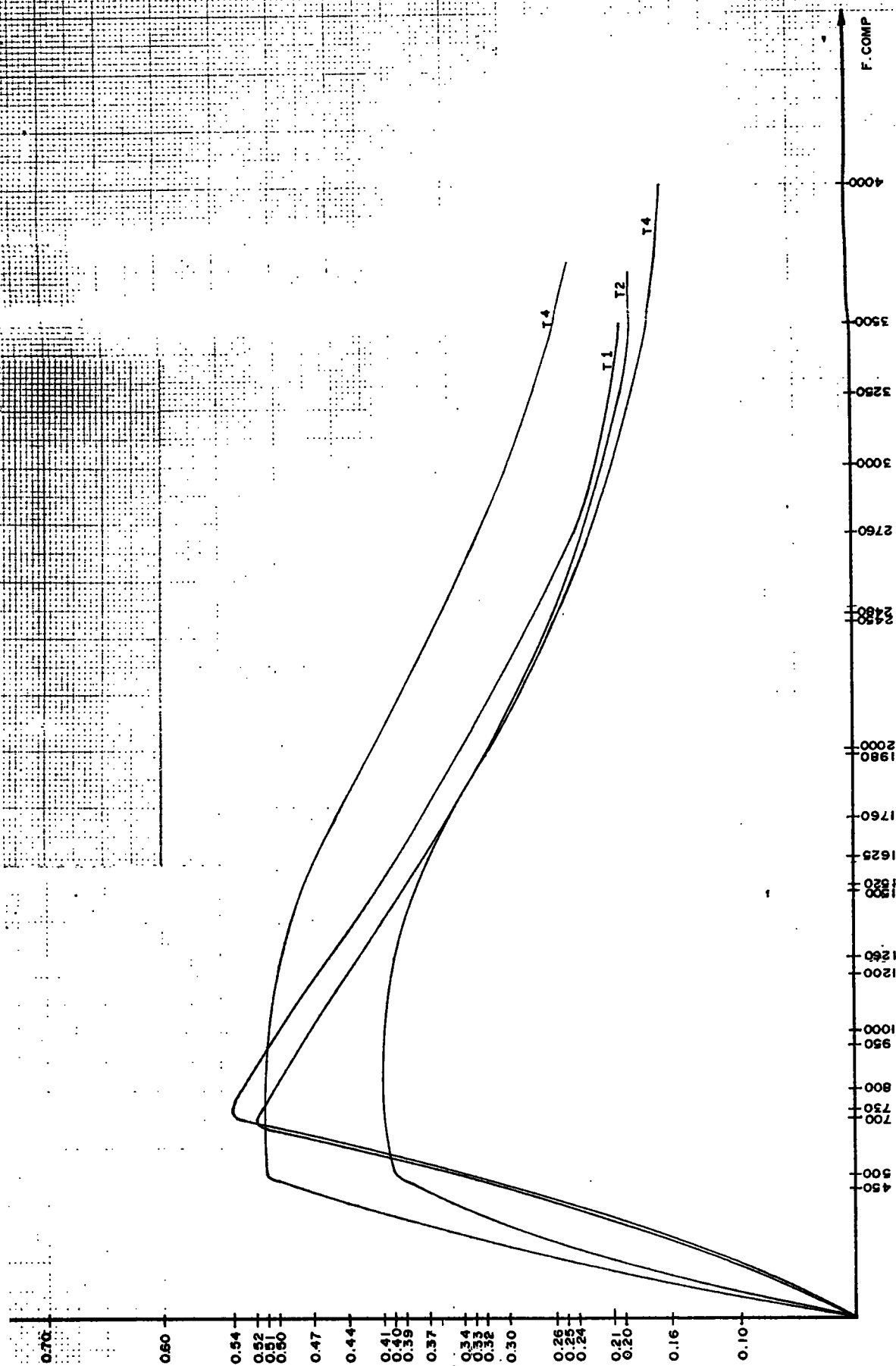


FIGURA 22 Variación de u con la temperatura. Rugosidad 2 humedad 3

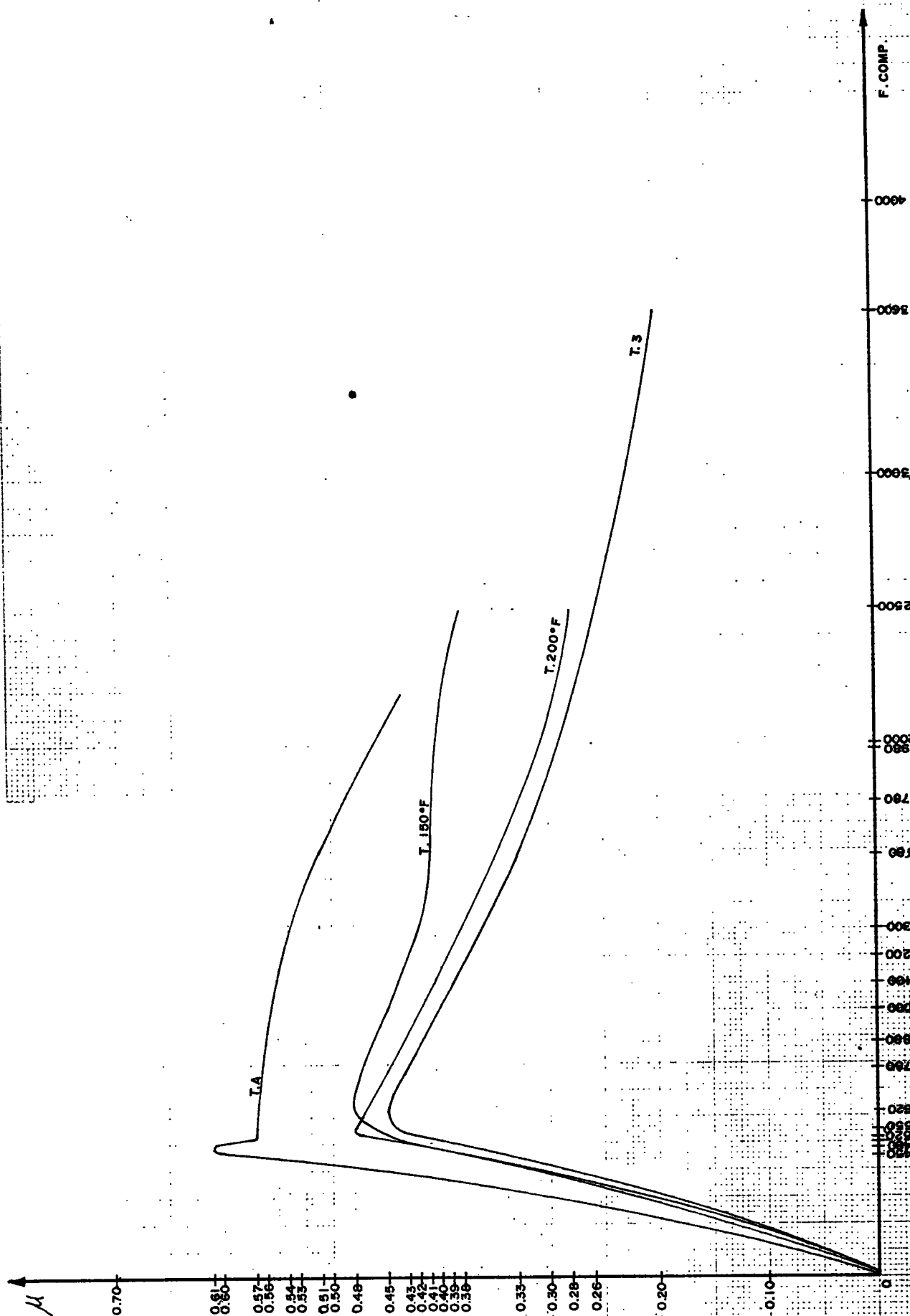


FIGURA 23 Variación de μ con la temperatura. Rugosidad 3, humedad 3

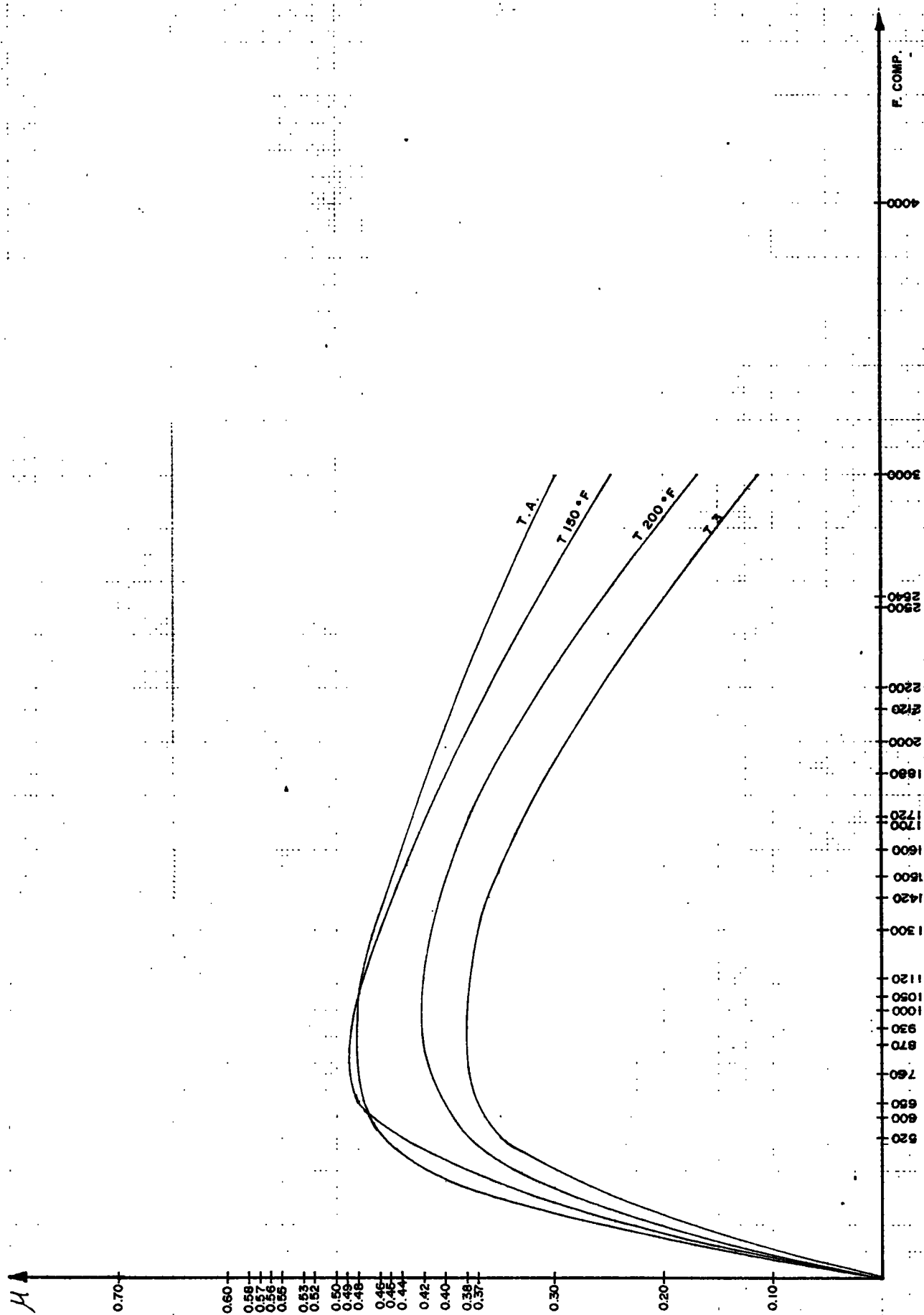


FIGURA 24 Variación de u con la temperatura. Rugosidad 3, humedad 1

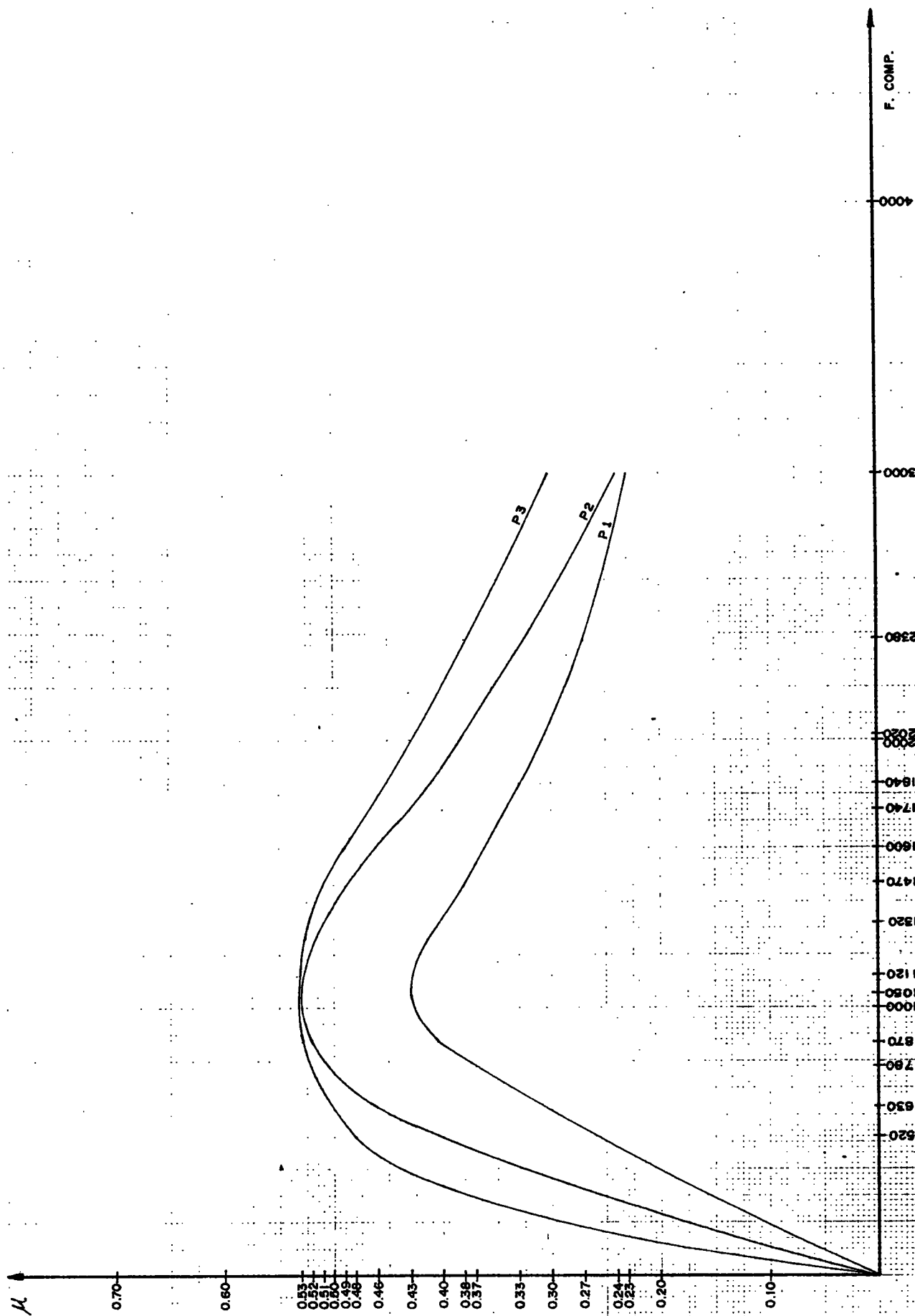


FIGURA 25 Variación de μ con el acabado superficial. Humedad 1
Temperatura 200°F

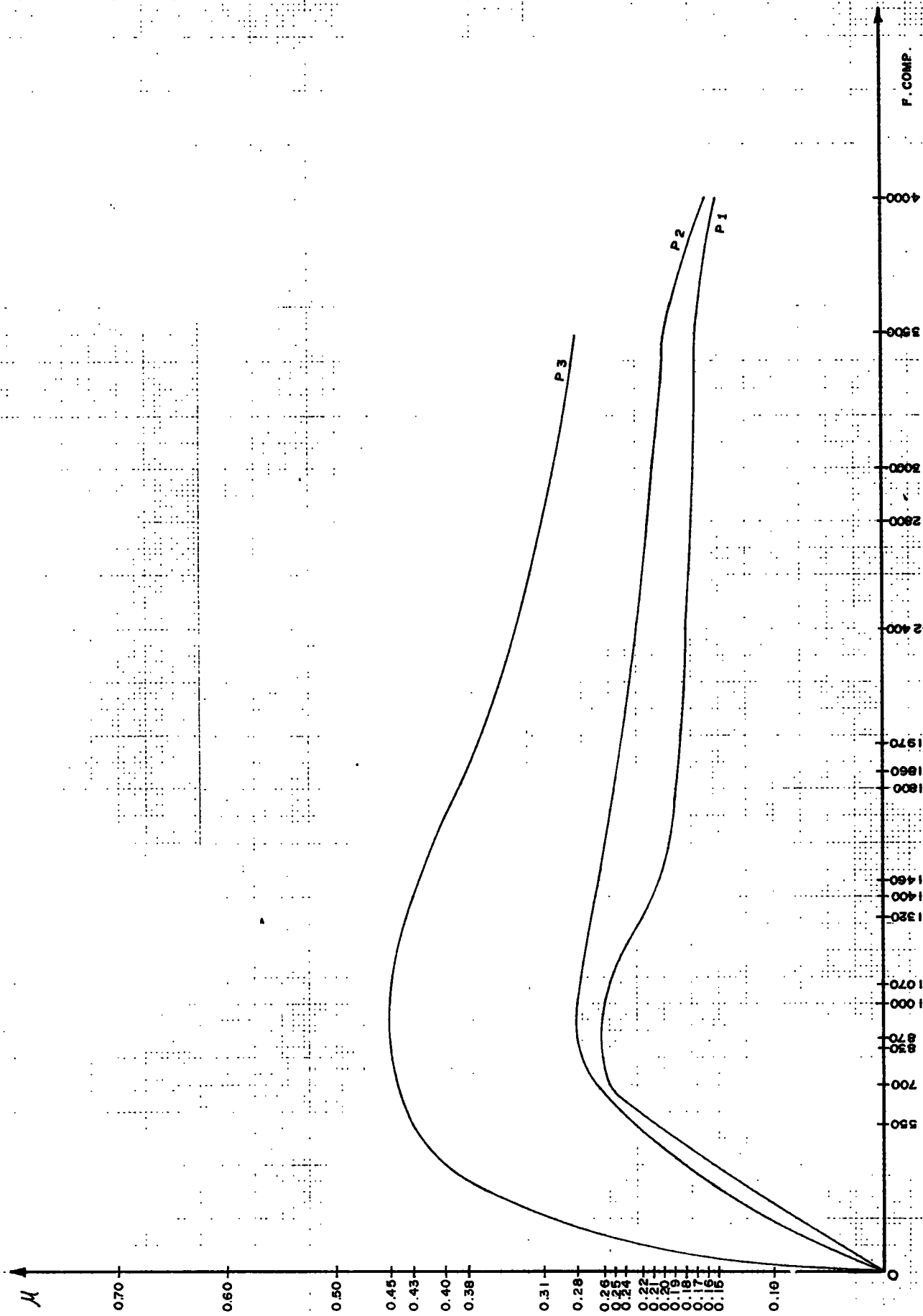


FIGURA 26 Variación de u con el acabado superficial. Humedad 2 temperatura 200°F

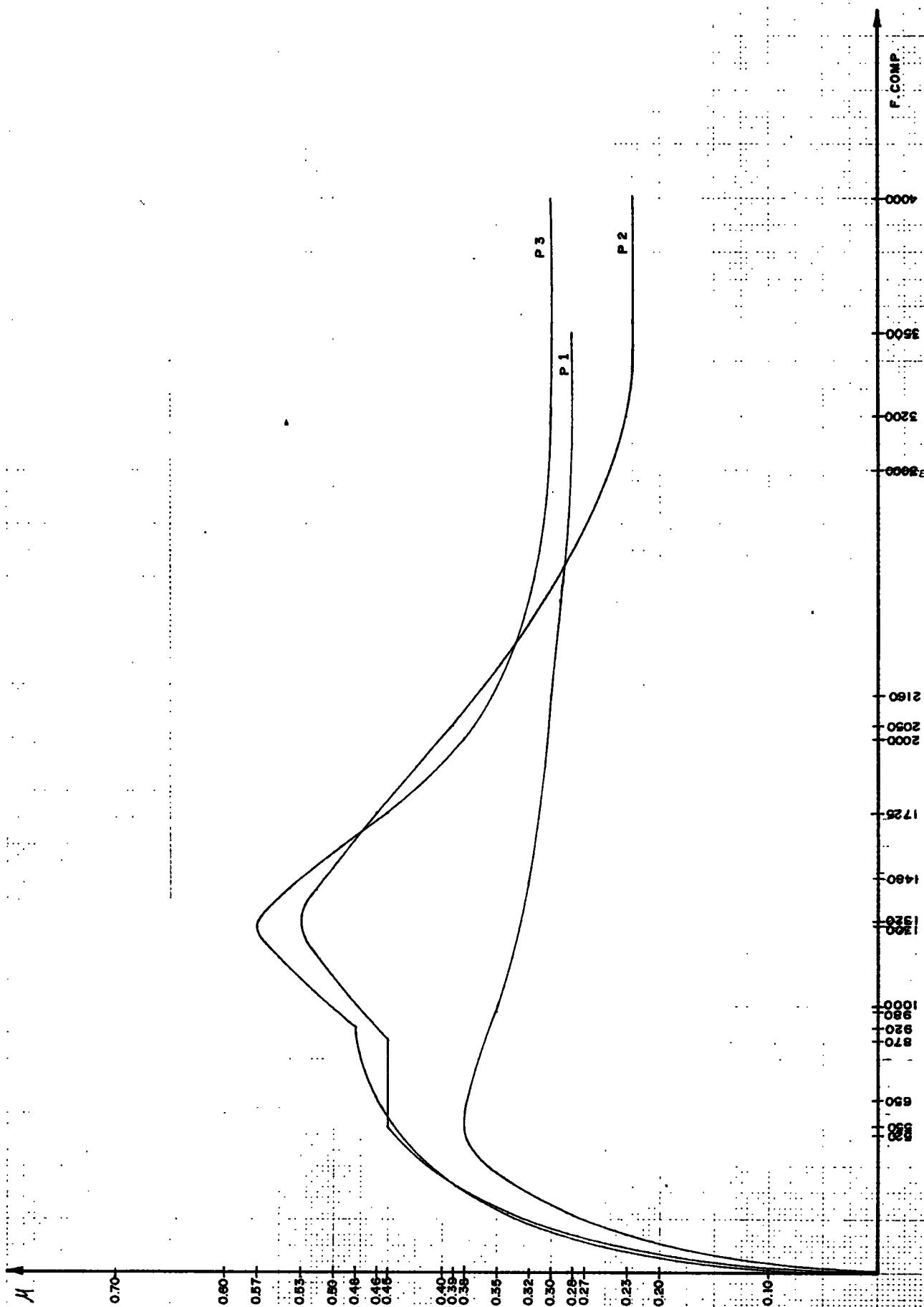


FIGURA 27 Variación de u con el acabado superficial. Humedad 2 temperatura 150°F

5.3 CARACTERISTICAS OBTENIDAS

Observando los gráficos obtenidos en los experimentos, se determina la influencia sobre el coeficiente de fricción, de los diferentes parametros analizados.

Al aumentar el porcentaje de humedad de la harina el coeficiente de fricción disminuye ostensiblemente, y el proceso en si se facilita. La elevada humedad presenta problemas para darle la forma y la contextura al fideo, además de aumentar mucho el tiempo necesario para el secado.

Un mejor acabado superficial del cilindro, favorece la disminución del coeficiente de fricción, aunque en forma no muy marcada o notable.

Se observa, con relación a la presión, que al pasar de cierto valor (aproximadamente 1200 Kg de fuerza normal), el coeficiente de fricción disminuye ostensiblemente, debido a que la harina suelta el agua absorvida, la cual junto con aceites naturales de la harina, se convierten en una especie de lubricante, que facilita el movimiento.

El aumento de temperatura, también favorece la disminución del coeficiente de fricción, aunque hay que tener la precaución de no pasar de 240°F, porque la harina que esta en contacto con el cilindro caliente, se seca demasiado, factor que sumado a la alta presión cambia totalmente la contextura de la harina, disparando el valor de

la fricción.

Por lo anterior podríamos decir que el proceso ideal se debe realizar con elevada humedad de la harina, cilindro y tornillo muy pulidos, temperatura medianamente alta y presión elevada, que garantizaría el menor consumo de potencia.

6. DISEÑO DE LA MAQUINA

6.1 CONSIDERACIONES GENERALES

El estudio del movimiento de un material en el tornillo de una máquina de extrusión sencilla se simplifica considerando tres tipos distintos de flujo: el flujo de fricción o de rozamiento; debido a la fricción del material con el cilindro y el tornillo, es el principal responsable del movimiento del material desde la tolva de alimentación hasta la boquilla.

El flujo de retroceso, opuesto al anterior y debido a la presión originada en la cabeza de la máquina extrusora, presión que es originada por la presencia de una restricción tal como la boquilla.

Finalmente el flujo de pérdida, también opuesto al flujo de fricción, originado por el gradiente de presión a lo largo del tornillo y que tiene lugar entre las paredes del cilindro y el filete del tornillo. La tolerancia radial de ajuste entre el tornillo y las paredes internas del cilindro es generalmente muy pequeña (del orden de 0.1 mm); por tanto, este flujo de pérdida es mucho más pequeño que los dos mencionados anteriormente.

El flujo total a lo largo del tornillo viene dado por la suma algebraica de los tres anteriores, ya que el flujo de retroceso y el flujo de pérdida tienen sentido opuesto al flujo de fricción o directo:

$$Q_{\text{Total}} = Q_{\text{fricción}} - Q_{\text{retroceso}} - Q_{\text{pérdida}}.$$

El flujo de fricción tiene lugar debido a que el material se adhiere a las paredes internas del cilindro y al propio tornillo en rotación. El material será impulsado con mayor efectividad por el husillo cuanto mayor sea la fricción entre el material y las paredes del cilindro y cuanto menor sea en la superficie del husillo.

Una representación esquemática de la distribución de velocidades en el canal de un tornillo durante el funcionamiento de una máquina de extrusión, viene dada en la Figura 28.

En el flujo directo la velocidad varía en forma lineal con la profundidad del canal helicoidal; en el flujo de retroceso la velocidad varía según una ley parabólica. Sumando ambos diagramas se obtiene la velocidad real en cualquier punto; cuando el material sale libremente, $a = 0$; cuando la salida está cerrada, $a = 1$. (Figura 29).

La magnitud del flujo inverso depende de la profundidad del canal helicoidal, diámetro del husillo, longitud de la zona de extrusión,

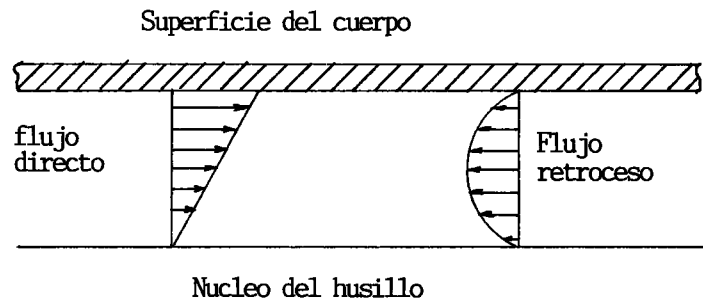


FIGURA 28. Distribución de velocidades en el canal del husillo

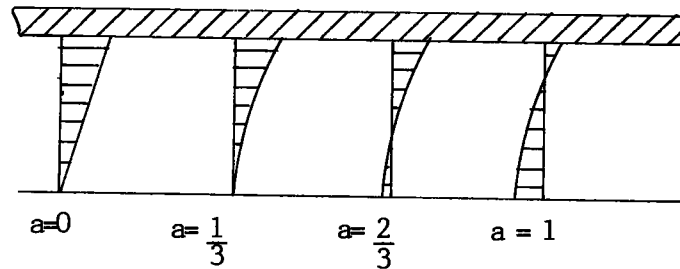


FIGURA 29. Velocidad real en el canal de husillo

presión ejercida por la masa sobre la boquilla, y de la viscosidad de la masa.

El husillo de la máquina realiza dos funciones principales; inmediatamente debajo de la tolva de alimentación trabaja como un transportador, convirtiéndose a medida que avanza la harina en una bomba o dosificador, zona en la cual se trabaja a altas presiones, que ocasionan la extrusión del material. El comportamiento de la máquina depende de como realiza estas dos funciones individuales.

Sean V_1 = velocidad de transporte

V_2 = velocidad de bombeo

Si $V_1 < V_2$, se dice que el tornillo funciona en vacío o mal alimentado. Con el fin de evitar un tornillo mal alimentado es preciso diseñarlo para que $V_1 > V_2$, teniendo en cuenta que si se cumple la desigualdad ésta no sea demasiado grande porque la operación resulta errática.

Cuando la alimentación que entra por la tolva consiste en partículas que fluyen libremente y tienen relativamente alta densidad aparente no se plantean problemas serios, pero si la alimentación es un polvo con baja densidad aparente que además desliza con dificultad pueden presentarse serios problemas.

En condiciones ideales las partículas siguen trayectorias rectas y paralelas al eje del tornillo. En estas condiciones la velocidad máxima de transporte se calcula con facilidad:

$$V_m = t \times n$$

V_m = veloc. máxima
 t = paso del tornillo
 n = rpm

Al avanzar dentro del cilindro el mecanismo de transporte varía. Las partículas se compactan y tienden a moverse como una masa maciza o pistón. El movimiento de este pistón descansa en las fuerzas de fricción que sobre él se ejercen desde las superficies metálicas del tornillo y del cilindro, y haciendo algunas suposiciones se puede analizar teóricamente.

Se ha llegado a establecer algunas conclusiones sobre este mecanismo, pero no hay suficiente base experimental para estar totalmente seguro de que las teorías son correctas.

6.1.1 Análisis y conceptos

- La teoría que se expone a continuación se aplica solo a fluidos, describiendo bien la extrusión de fundido, en la inyección de plásticos, y que se ha tomado como punto de referencia a comparación de los datos obtenidos experimentalmente y así lograr encontrar relaciones matemáticas que describan la extrusión de harina.

Puede considerarse que el extrusor funciona o girando el tornillo y dejando fijo el cilindro o girando el cilindro en dirección contraria y dejando fijo el tornillo. Se trata de un movimiento relativo que en ambos casos es idéntico. Lo más fácil de construir es que gire el tornillo y así se hace. Pero para sacar ecuaciones y evitar el movimiento del sistema de coordenadas se supone que lo que se mueve es el cilindro, las ecuaciones que así se obtienen siguen siendo válidas.

Para hacer el estudio del movimiento del material en el canal del tornillo se considera el movimiento de una superficie plana que se desliza sobre el material en cuestión; el movimiento relativo de la superficie respecto al canal da lugar al arrastre del fluido.

El canal del tornillo se considera de sección rectangular y moviéndose con relación a un plano que cubre su lado abierto.

Para simplificar la teoría se hacen algunas suposiciones. Primero se supone que el diámetro del tornillo es mucho mayor que la profundidad del canal ($h \ll D$); asimismo se supone que el fondo del canal y el cilindro son dos planos paralelos y se eligen tres ejes de coordenadas como en la Figura 30.

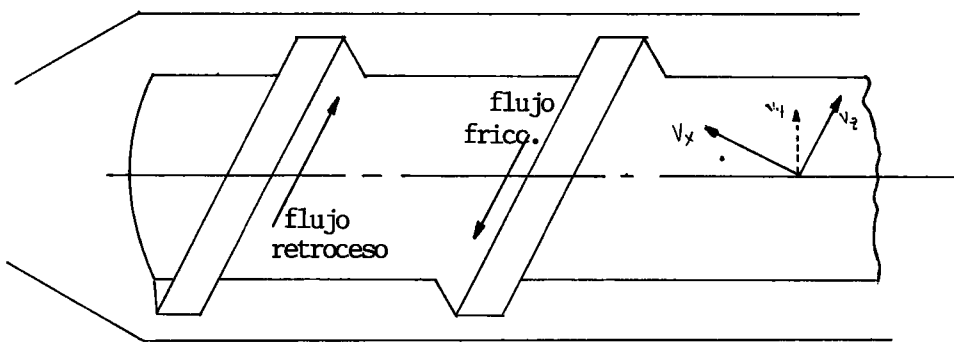
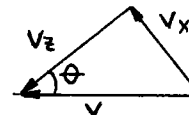


FIGURA 30. Sistema de Coordenadas

Sea V la velocidad con que se mueve el cilindro sobre el tornillo;
 $V = \pi Dn$ está dirigida formando un ángulo θ con el filete del tornillo
 y tiene los componentes

$$V_x = \pi D N \sin \theta$$

$$V_z = \pi D N \cos \theta$$



El vector de la velocidad del fluido en un punto cualquiera del canal se resuelve en sus componentes según los tres ejes x, y, z . Una partícula de fluido describe un movimiento muy complejo dentro del canal, pero solo la componente V_z es responsable del avance del

fluido a lo largo del canal. Las otras dos componentes actúan en plano normal al eje z y causan un movimiento circulatorio importante para la transmisión del calor y para el mezclado pero no para la capacidad de transporte del tornillo. Por tanto para estudiar este último basta con considerar V_z .

Si no hay gradiente de presión en la dirección z, V_z solo es debido al flujo de fricción provocado por el movimiento de la superficie del cilindro (siempre en dirección t_z); la dirección positiva de z se considera hacia la boquilla.

Si hay un impedimento al flujo (una boquilla), se crea un gradiente de presión en dirección z, esto causa un flujo en dirección negativa -z flujo de retroceso (flujo de presión)

El análisis de estos dos flujos y de la potencia necesaria, se basa en considerar el flujo newtoniano isotérmico de un fluido incompresible en un canal rectangular de ancho W y altura h. Se desprecia δ (juego entre el cilindro y el tornillo) porque $\delta \ll h$ y se supone que el flujo es uniforme y puede despreciarse la aceleración.

La teoría matemática más sencilla está basada en la ecuación de flujo:

$$\frac{\delta^2 v}{dx^2} + \frac{\delta^2 v}{dy^2} = \frac{1}{\eta} \left(\frac{dP}{dz} \right)$$

$$\frac{dP}{dz} = \text{gradiente de presión a lo largo del canal}$$

V = velocidad de flujo en el canal

η = viscosidad del fluido

El movimiento relativo entre el canal y el plano deslizante origina una distribución de velocidad en dos dimensiones sobre la sección recta del canal, cuya distribución puede obtenerse resolviendo la ecuación anterior y teniendo en cuenta las condiciones en los límites; si la ecuación así obtenida para la velocidad en cualquier punto se integra sobre la sección recta del canal se puede obtener una expresión que da el gasto o cantidad de fluido que pasa a través del canal por unidad de tiempo.

La ecuación simplificada se obtiene igualando a cero $\frac{\delta^2 V}{\delta x^2}$, lo que supone despreciar el efecto que puedan tener las paredes del canal en el flujo; con esto la ecuación del flujo queda:

$$\frac{\delta^2 V}{\delta y^2} = \frac{1}{\eta} \left(\frac{dP}{dz} \right) \quad (1)$$

Usando esta última ecuación se obtienen unos resultados que discrepan menos del 10% de los obtenidos con la ecuación completa si la relación del ancho del canal (W) a la profundidad del mismo (h) es mayor que 10, es decir:

$$\frac{W}{h} > 10$$

Este es precisamente el caso de la mayoría de los tornillos usados actualmente en las máquinas de extrusión de plásticos.

La integración de la ecuación (1):

$$\frac{dv}{dy} = \frac{y}{n} \left(\frac{dP}{dz} \right) + C_1 \quad (2)$$

integrando nuevamente

$$v = \frac{y^2}{2n} \left(\frac{dP}{dz} \right) + C_1 y + C_2 \quad (3)$$

Teniendo en cuenta las condiciones en los límites, resulta: cuando $y = 0$ es decir, junto a la pared interna del cilindro $v = 0$, con lo que sustituyendo estos valores en (3), tenemos $C_2 = 0$ y por tanto:

$$v = \frac{y^2}{2n} \left(\frac{dP}{dz} \right) + C_1 y$$

Por otro lado, en el fondo del canal, es decir, junto al tornillo, es $y = h$, profundidad del canal, y $v = V$, velocidad periférica lineal del tornillo, lo que resulta:

$$v = \frac{h^2}{2n} \left(\frac{dP}{dz} \right) + C_1 h \rightarrow C_1 = \frac{V}{h} - \frac{h}{2n} \left(\frac{dP}{dz} \right)$$

y finalmente:

$$v = \frac{y^2}{2n} \left(\frac{dP}{dz} \right) + \frac{Vy}{h} - \frac{hy}{2n} \left(\frac{dP}{dz} \right)$$

$$v = \frac{vy}{h} + \frac{y(y-h)}{2n} \left(\frac{dP}{dz} \right) \quad (4)$$

En el segundo miembro de esta ecuación aparecen dos términos: el primero varía linealmente con y , y representa el flujo de fricción, el segundo es una función parabólica de y , y representa el flujo de retroceso. La suma de estos dos términos representa la velocidad resultante en cualquier punto del canal.

Para obtener el gasto o caudal total del fluido a través del canal se puede partir de la ecuación (4) integrando el producto de la velocidad por el ancho del canal entre los límites $y=0$ y $y=h$.

Capacidad de extrusión de la máquina = Q
 ancho del canal = W

$$Q = \int_0^h Wv dy = \int_0^h \frac{Wvy}{h} dy + \int_0^h \frac{Wy(y-h)}{2n} \left(\frac{dP}{dz} \right) dy$$

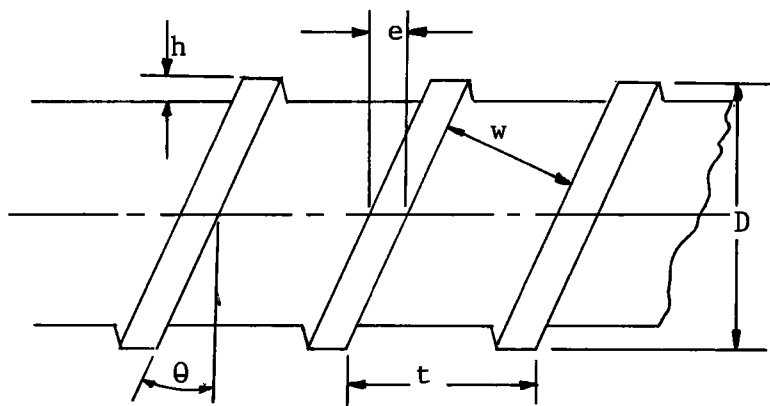
Obteniendo

$$Q = \frac{WVh}{2} - \frac{Wh^3}{12n} \left(\frac{dP}{dz} \right) \quad (5)$$

Se observa que el flujo de retroceso se opone al flujo de fricción como se había previsto.

Interesa escribir la ecuación (5), que da el flujo a través de la boquilla en función de las dimensiones del tornillo, empleando la

notación de la Figura 31.



D: diámetro del tornillo

θ : ángulo de la hélice

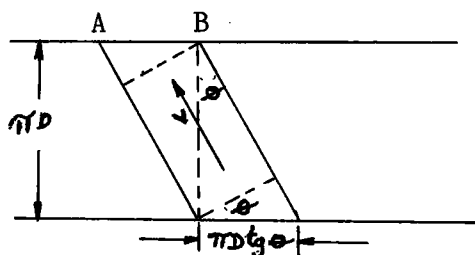
t: paso de la hélice

w: ancho del canal

h: profundidad del canal

FIGURA 31. Notación del Tornillo SinFin

suponiéndose el tornillo cortado a lo largo de una generatriz y desarrollado, despreciando el ancho e del filete, tal como se representa en la Figura 32, se pueden escribir las siguientes ecuaciones:



$$AB = \pi D \tan \theta = t$$

$$w = \pi D \sin \theta$$

FIGURA 32. Tornillo desarrollado

Para hallar la velocidad de avance del material fundido a lo largo del canal del tornillo, se considera que el material es arrastrado por el tornillo, y por tanto si es $N = \text{rpm}$ del tornillo, ha de ser:

$$V < \pi D N$$

De la figura (anterior) se deduce fácilmente:

$$V = \pi D \cos \theta \quad \text{para } N=1$$

en el caso general

$$V = \pi D N \cos \theta$$

Sustituyendo los valores así hallados de W y V en el término $\frac{WhV}{2}$ de la ecuación (5) tenemos:

$$\frac{WhV}{2} = \frac{\pi D \sin \theta h \pi D N \cos \theta}{2} = \frac{\pi^2 D^2 N (\sin \theta \cos \theta) h}{2}$$

Para poner el segundo término $\frac{Wh^3}{12n} \left(\frac{dP}{dz} \right)$ de la ecuación (5) en función de las dimensiones del tornillo, se tiene:

Sea L ; longitud del tornillo

z : longitud del canal del tornillo a lo largo del cual pasa el material y existe el gradiente de presión $\frac{dP}{dz}$

$$\frac{L}{z} = \sin \theta \quad z = \frac{L}{\sin \theta} \quad dz = \frac{dL}{\sin \theta}$$

Se puede escribir:

$$\frac{Wh^3}{12n} \frac{dP}{dz} = \frac{h^3 \pi D \sin \theta}{12n} \frac{dP}{dL} \sin \theta = \frac{h^3 \pi D \sin^2 \theta}{12n} \frac{dP}{dL}$$

Si L es la longitud de la zona fundida o zona de compresión, entonces:

$$\frac{dP}{dL} = \text{constante} = \frac{\Delta P}{L}$$

ΔP : caída total de presión en la zona de compresión

Por lo tanto la ecuación (5) puede escribirse:

$$Q = \frac{\pi^2 D^2 N (\text{Sen}\theta \text{Cos}\theta) h}{2} - \frac{\pi D h^3 \text{Sen}^2 \theta \Delta P}{12 n L}$$

Que se puede escribir en la forma más general para un determinado tornillo:

$$Q = A n - B \frac{\Delta P}{n}$$

Donde A y B son constantes del tornillo.

6.2 ANALISIS DE LA MAQUINA PROTOTIPO

Como éste trabajo trata del diseño de una máquina para realizar un proceso, de extrusión de harina, sobre lo que no hay una formulación específica, se hace necesario construir una máquina prototipo a escala en la cual se puedan medir ciertos parámetros para compararlos con datos obtenidos teóricamente mediante la aplicación de fórmulas existentes para procesos semejantes, como es el caso de la inyección de plásticos.

Teniendo datos reales, medidos directamente sobre la máquina prototipo se realiza una comparación con los datos teóricos y así formarse una idea clara del funcionamiento del husillo al trabajar con harina.

Con una visión clara proporcionada por las experiencias y análisis directos, se llega con mucha seguridad a realizar el diseño de la Máquina en su tamaño real y así obtener los resultados que se buscan.

El elemento principal de ésta máquina es el husillo o tornillo SinFin del cual es necesario partir en el Diseño de la Máquina. Para poder construir el tornillo SinFin de la máquina prototipo, hay que tener en cuenta los análisis experimentales realizados. Se construyó una boquilla con un orificio de salida, de diámetro 3/16", y que sería la de usar en la máquina prototipo; sobre esta boquilla, adaptada a un cilindro, se hizo pasar ^o a fluir harina con una fuerza aplicada y medible en la máquina universal de Tracción. La fuerza necesaria para que el fideo fluya fue de 1200 Kg, lo que da una presión aproximada de 114 Kg/cm^2 .

El valor de la presión encontrada, es un dato valioso y necesario de cumplir en el extremo del Tornillo, aunque analizando la forma de operación del ensayo y de la máquina (ver Figura. 33).

Se nota que en el ensayo se forma una especie de "Taco", que no es posible se forme en la máquina, por la terminación del tornillo, y que posiblemente incrementa la fuerza F.

Para construir el Prototipo, se hizo uso de una máquina de moler casera, adaptándose de tal forma que se pueda colocar en un Torno

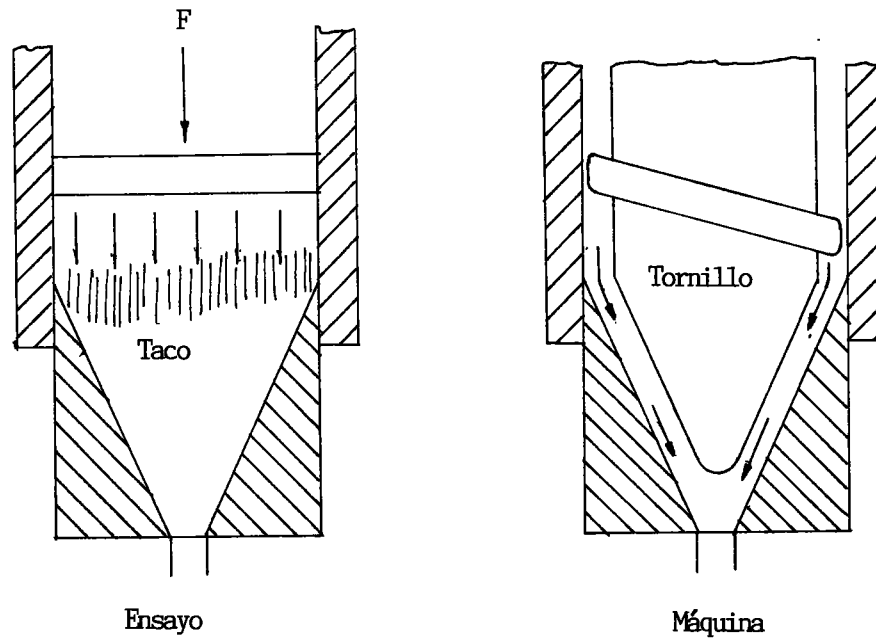


FIGURA 33. Flujo de material en la boquilla

y realizar así los experimentos requeridos. Teniendo en cuenta ciertas restricciones tecnológicas para la construcción del SinFin y algunas recomendaciones extractadas de libros de Inyectores de Plásticos, se construyó un tornillo con las medidas que aparecen a continuación

6.2.1 Tornillo Máquina Prototipo (Ensayo)

\varnothing exterior = 3.8 cm
 Paso = 2.45 cms
 Ancho Canal = 2.1 cms
 Angulo hélice = 11.59° /
 Ancho Cresta = 0.35 cms

Largo tornillo = 8.5 cms

Altura filete entrada = 0.8 cms

Altura filete salida = 0.5 cms

N = 45 rpm

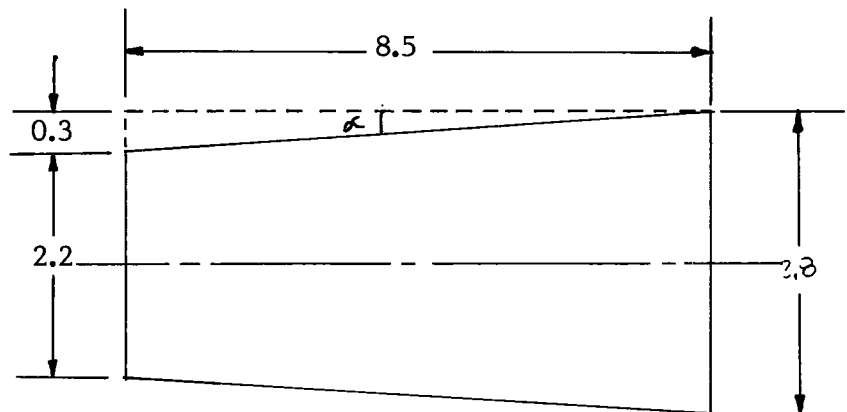
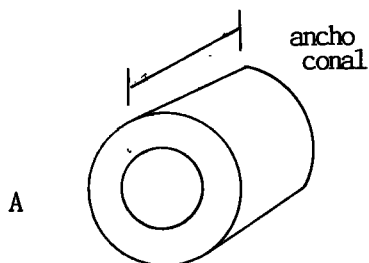


FIGURA 34. Perfil del Cono del tornillo



$$V = A \times AC. = \frac{\pi}{4} (D_e^2 - D_r^2) \times A.C.$$

$$V = \frac{\pi}{4} (3.8)^2 - (2.2)^2 \times 2.1 = 15.83 \text{ cm}^3$$

FIGURA 35. Volumen ocupado en un canal de la zona de alimentación

Volumen Zona compresión:

$$V = \frac{\pi}{4} \left[(3.8)^2 - (2.8)^2 \right] \times 2.1 = 10.88 \text{ cm}^3$$

Relación de compresión =

$$RC = 1 - \frac{10.88 \times 1}{15.83} = 0.31 \text{ (31\%)}$$

Según gráficos:

Para R.C. 0.31 $\rightarrow F_{\text{aplicada}} = 300 \text{ Kg}$

Con los datos del tornillo, los caudales encontrados teóricamente son:

Flujo de Material a través de la boquilla en función de las dimensiones del tornillo sin tener en cuenta las fugas: *

$$(1) Q = \frac{\pi^2 D^2 N (\text{Sen} \varnothing \text{Cos} \varnothing) h}{2} - \frac{\pi D h^3 \text{Sen}^2 \varnothing}{12 L \eta} \cdot \Delta P$$

D : \varnothing tornillo

\varnothing : ángulo de la hélice

h : Prof. del canal

L : Longitud zona compresión

η : constante igual a 1

ΔP : caída de presión en la zona de compresión

N: número rev. por minuto

En la zona Alimentación:

* Anguita, Ramón D. Extrusión de Plásticos. Barcelona, España
Blume p. 298

$$Q = \frac{\pi^2 (3.8 \text{ cm})^2 \times 45 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \times \text{Sen } 11.59^\circ \times \text{Cos } 11.59^\circ \times 0.8 \text{ cm}}{2}$$

$$- \frac{(3.8 \text{ cm})(0.8 \text{ cm})^3 \text{ Sen}^2 11.59^\circ \times 26 \times 45 \text{ Kg/cm}^2}{12 \times \frac{1 \text{ Kgmin}}{\text{cm}^2} \times 3 \text{ cms}}$$

$$m = Q \times p = 504.68 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \times 7.44 \times 10^{-4} \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^3} = 0.375 \text{ Kg/min}$$

En la zona de compresión

$$Q = \frac{\pi^2 \cdot (3.8)^2 \cdot 45 \cdot \text{Sen } 11.59^\circ \times \text{Cos } 11.59^\circ \times 0.5}{2}$$

$$- \frac{\pi \times 3.8 (0.5)^3 \cdot \text{Sen}^2 11.59^\circ \times 26.45}{12 \times 1 \times 3} =$$

$$Q = 315.54 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} - 0.0443 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} = 315.49 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

$$\dot{m} = 315.49 \times 7.44 \times 10^{-4} = 0.234 \frac{\text{Kg}}{\text{min}}$$

Teniendo en cuenta las fugas*

$$(2) \dot{Q} = \alpha \left(\frac{DP}{u} \right) - \gamma \left(\frac{P}{u} \right)$$

$$(3) \alpha = \frac{m D h \left(\frac{t}{m} - e \right) \cos^2 p}{2}$$

$$(4) \beta = \frac{m h^3 \left(\frac{t}{m} - e \right) \sin p \cos p}{12L}$$

$$(5) \gamma = \frac{\pi^2 D^2 \delta^3 \tan p}{10eL}$$

m : Número de canales

D : Ø Cilindro

h : Prof. canal

t : Paso

e : anchura cresta del filete

p : ángulo de la hélice

γ : huelgo radial

L : Longitud tornillo

: rev/min husillo

u : viscosidad material

Para zona alimentación:

$$\alpha = \frac{1 \times 3.8 \text{ cm} \times 0.8 \text{ cm} \left(\frac{2.45 \text{ cm}}{1} - 0.35 \text{ cm} \right) \cos^2 11.59^\circ}{2} = 9.623 \text{ cm}^3$$

$$\beta = \frac{1 \times (0.8 \text{ cm})^3 \left(\frac{2.45}{1} - 0.35 \text{ cm} \right) \sin 11.59^\circ \cos 11.59^\circ}{12 \times 8.5 \text{ cm}} = 0.00207 \text{ cm}^3$$

$$\gamma = \frac{(3.8 \text{ cm})^2 (0.03 \text{ cm})^3 \tan 11.59^\circ}{10 \times 0.35 \times 8.5 \text{ cm}} = 2.65 \times 10^{-5} \text{ cm}^3$$

$$Q = 9.623 \text{ cm}^3 \times 45 \frac{\text{rev}}{\text{min}} - 2.07 \times 10^{-3} \text{ cm}^3 \times \frac{26.45 \text{ Kg/cm}^2}{1 \frac{\text{Kgmin}}{\text{cm}^2}} - 2.65 \times 10^{-5} \text{ cm}^3 \times \frac{26.45 \text{ kg/cm}^2}{1 \frac{\text{kgmin}}{\text{cm}^2}}$$

$$Q = 433 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} - 0.0547 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} - 7.00 \times 10^{-4} \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

* SAVGORODNY. V.K. Transformación de Plásticos. Barcelona, España, Blume 1980, p. 7

$$Q = 432,94 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \quad \dot{m} = 432.94 \times 7.44 \times 10^{-4} = 0.322 \text{ Kg/min}$$

Para Zona Compresión

$$\alpha = 6.014 \text{ cm}^3 \quad \beta = 5.053 \times 10^{-4} \text{ cm}^3 \quad \gamma = 2.65 \times 10^{-5} \text{ cm}^3$$

$$Q = 6.014 \times 45 - 5.053 \times 10^{-4} \times 26.45 - 2.65 \times 10^{-5} \times 26.45$$

$$Q = 270.63 - 0.01336 - 7.00 \times 10^{-4}$$

$$Q = 270,61 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \quad \dot{m} = 0.201 \text{ Kg/min}$$

Cálculo Producción Real de una Extrusora

Sin conocer la viscosidad *

$$(6) Q = 0.5 \pi^2 D^2 H N \text{ Sen } \theta \text{ Cos } \theta \times Fb$$

$$Fb = 0.33$$

Fb: Factor de corrección por la influencia de la boquilla.
Para boquilla circular varia entre 0.3 - 0.5 dependiendo del \emptyset del orificio.

$$Q = 0.5 \pi^2 \times (3.8 \text{ cm})^2 \times 0.5 \text{ cm} \times 45 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \text{ Sen } 11.59^\circ \times \text{cos } 11.59^\circ \times 0.33 =$$

$$105 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

$$\dot{m} = 0.0785 \text{ Kg/min}$$

* ANGUITA, Ramon D. Extrusor de Plásticos. Barcelona España, Blume P. 305

Con la humedad que se ha determinado como la más apta para el proceso se halla la rata música real que entrega la máquina, produciendo fideo por un tiempo determinado y pesando lo producido. Después de realizar varias pruebas se logra un promedio, obteniendo:

$$\overset{\circ}{m} = \frac{62.5 \text{ gr}}{\text{min}} = 0.0625 \text{ Kg/min}$$

Comparando éste valor con el encontrado mediante la fórmula (6), se halla un factor de corrección y así poder aplicar la formula tranquilamente.

Se puede deducir:

$$\overset{\circ}{m}_t: \text{rata música teórica} = 0.0785 \text{ Kg/min}$$

$$\overset{\circ}{m}_r: \text{rata música real} = 0.0625 \text{ Kg/min}$$

$$\begin{array}{ccc} 0.0785 & 100 \\ 0.0625 & X \end{array} \rightarrow X = \frac{0.0625 \times 100}{0.0785} = 79.61$$

$$\rightarrow \text{F.C.} = 0.8$$

Realizando también un ensayo con una boquilla con tres agujeros de salida, se obtiene una producción promedio de:

$$\overset{\circ}{m} = 0.178 \text{ Kg/min}$$

Se supone que con tres agujeros, la producción debe triplicarse comparandola con la boquilla de un agujero; pero se revela una eficiencia de 0.95 :

$$\dot{m}_3 = 3\dot{m}_1 \times 0.95 \quad (7)$$

\dot{m}_3 = rata masica boquilla 3 agujeros

\dot{m}_1 = rata masica boquilla 1 agujero

6.2.1.1 Cálculo de la potencia

El consumo de potencia es un parámetro clave en el diseño de la máquina, porque como se ha expresado anteriormente, hay que disminuir al máximo su valor para lograr una producción que disminuya ostensiblemente los costos en cuanto a energía consumida se refiere.

Para medir la potencia consumida en la Máquina Prototipo, se usa una pinza volti-amperimétrica para determinar la corriente consumida (amperios) en el proceso y que permite, con las características de funcionamiento del motor, calcularlo:

$$HP = \frac{I \times E \times 1.73 \times \% \text{ Ef. } \times F.P}{746} \quad (8)^*$$

Corriente $I = 0.2$ amp

Voltaje $E = 220$ volt.

* Dawes, Ch. L. Electricidad Industrial, 2a. Edición, Barcelona, España Reverte 1981. tomo 2.

Porcentaje de Eficiencia del Motor Ef = 0.90

Factor de Potencia F.P. = 0.88

$$HP = \frac{0.2 \times 220 \times 1.73 \times 0.9 \times 0.88}{746}$$

$$HP = 0.08$$

Para realizar el cálculo teórico y establecer comparaciones, se parte de las fórmulas empleadas para inyección de Plásticos, en las cuales se establece una fórmula para encontrar la potencia requerida para mantener o proporcionar la presión.

$$HP = \frac{\pi D^2 N h \text{ Sen } \theta \text{ Cos } \theta}{2 \text{ Cos}^2 \theta} \Delta P \quad (9)$$

D:= Ø ext. tornillo

N: rpm

h: altura del filete

θ: ángulo hélice

ΔP: incremento de Presión (se recomienda 115 Kg/cm²)

$$HP = \frac{\pi^2 (3.7\text{cm})^2 \times 45 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \times 0.5\text{cm} \times \text{Sen } 11.59^\circ \text{Cos } 11.59^\circ \times 115 \text{ Kg/cm}^2}{2 \text{ Cos}^2 11.59^\circ}$$

$$HP = \frac{68806.88}{1.91927} \frac{\text{Kg-cm}}{\text{min}} = 35850 \frac{\text{Kg-cm}}{\text{min}} \times \frac{1\text{m}}{100 \text{ cm}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} = 5.975 \frac{\text{Kg-cm}}{\text{seg}}$$

$$HP = 5,975 \frac{\text{kg.m}}{\text{seg.}} \times \frac{0.01315}{1 \frac{\text{kg.m}}{\text{seg.}}} = 0,078$$

Comparando los valores encontrados se llega a la conclusión de que se puede aplicar la ecuación (9) para el cálculo de la potencia en el caso de la extrusión de harina.

6.2.1.2 Fuerza Axial

En la extrusión, la fuerza axial que se genera sobre los husillos es muy elevada. Con el fin de tener una idea clara de la magnitud de esta fuerza, generada durante los ensayos en la máquina prototipo, se calcula su valor.

La forma de hacerlo se basa en el modelo de viga compartida, para lo cual se monta una barra cuadrada sobre el portaherramienta del torno, dejando en voladizo una longitud de 11.58 cm. con el extremo de la barra se restringió el movimiento de la máquina de ensayo, la cual al ponerse en funcionamiento, transmitía la fuerza axial sobre la barra. Esta fuerza genera una deflexión que el modelo aplicado fue el siguiente:

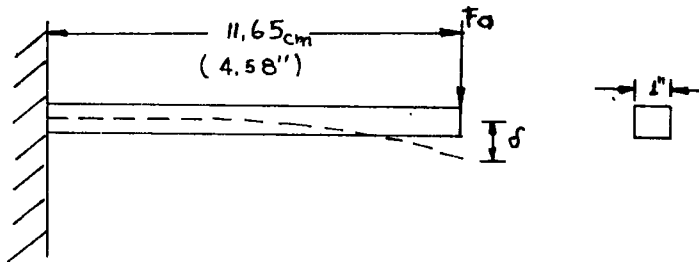


FIGURA 36 Modelo para medir la fuerza axial.

$$\delta = \frac{F_a L^3}{3EI} *$$

Fa = fuerza aplicada

L = long. barra

E = módulo elasticidad

I = momento inercia

δ = deflexión máxima = 0.20" (medida con comparador)

Aceros E = $30 \times 10 \times 10^6$ lb/pulg²

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{1^4}{12} = 0.08333 \text{ ,Pulg}^4$$

$$F_a = \frac{3 EI}{(4.58 \text{ pulg})^3} = \frac{3 \times 0.20 \text{ pulg} \times 30 \times 10^6 \text{ lb/pulg}^2 \times 0.08333 \text{ pulg}^4}{(4.58 \text{ pulg})^3}$$

$$F_a = 1561.26 \text{ lb} = 710 \text{ Kg.}$$

Ahora se puede entrar a diseñar el tornillo Sin Fin, amparándose en las fórmulas que se pudieron verificar con la máquina prototipo, además atendiendo las recomendaciones encontradas en la bibliografía consultada sobre inyección de plásticos.

* SINGER, Ferdinand, L. Resistencia de Materiales, México Harper & Row Latinoamericana, 1981, p. 258

7. ANALISIS DE LA MAQUINA

7.1 DIMENSIONADO DEL TORNILLO SINFIN

Teniendo como punto de partida la producción exigida para la máquina que es:

$$\text{Producción} = 125 \text{ Kg/h} = 2.08 \text{ Kg/min}$$

De Tablas:*

$$\text{Densidad harina} = 45:50 \text{ lb/pie}^3$$

Experimentalmente:

$$\rho = 46.34 \text{ lb/pie}^3 = 7.44 \times 10^{-4} \text{ Kg/cm}^3 \quad Q = \frac{2.08 \text{ Kg/min}}{7.44 \times 10^{-4} \text{ Kg/cm}^3} = 2795 \text{ cm}^3/\text{min}$$

Analizando las fórmulas (6) y (9)

$$(6) \quad Q_1 = 0.5 \pi D^2 h N \text{ Sen}\theta \text{ Cos}\theta \times F_b \times F_c \quad (\text{producción con boquilla de un agujero})$$

$$(9) \quad P = \frac{\pi D^2 N h \text{ Sen}\theta \text{ Cos}\theta \Delta P}{2 \text{ Cos}^2 \theta}$$

* Marks, Lionel S. Manual del Ingeniero Mecánico. 2a. Edición. Español. .
Bogotá, Colombia Mac Graw-Hill Panamericana 1982 .

Se puede verificar la influencia de los parámetros en el valor del caudal y la potencia.

Se destaca la influencia del diámetro del tornillo, que por encontrarse elevado al cuadro, cualquier aumento en su dimensión aumenta considerablemente el consumo de potencia, aumentando también el caudal procesado.

La presión necesaria para efectuar el proceso, es directamente proporcional a la potencia consumida, lo que obliga a trabajar con la presión mínima admisible.

Para realizar el conformado del fideo se escoge una boquilla de 5 agujeros de salida. Fig. 37

Por lo tanto :

$$Q_2 = 5Q_1 \times 0.9 \quad (10)$$

Q_2 : Caudal con boquilla de 5 agujeros

Q_1 : Caudal con boquilla de 1 agujero

0.9: Factor de corrección (eficiencia boquilla)

Teniendo como base:

$$L_t = 21 \text{ cms (long. total tornillo)}$$

$$D = 8.5 \text{ cm}$$

$$h = 0.5 \text{ cm}$$

$$L = 4 \text{ cms (long. zona compresión)}$$

$$\theta = 10^\circ$$

F.C = 0.8 (encontrado experimentalmente)

$$\Delta P = 115 \text{ Kg/cm}^2$$

Reemplazando el valor de Q_1 (cc.6) en la ecuación (10), se encuentran las revoluciones de giro del tornillo.

$$Q_2 = 5 \times 0.5 \pi^2 D^2 h N \text{ Sen}\theta \text{ Cos}\theta F_b \underline{F.C} \times 0.9$$

$$N = \frac{Q_2}{5 \times 0.5 \pi^2 D^2 h N \text{ Sen}\theta \text{ Cos}\theta F_b F.C \times 0.9}$$

$$N = \frac{2795}{5 \times 0.5 \times \pi^2 \times (8.5)^2 \times 0.5 \times \text{Sen } 10^\circ \times 0.33 \times 0.8 \times 0.9}$$

$$N = 97.7 \text{ Rev/min}$$

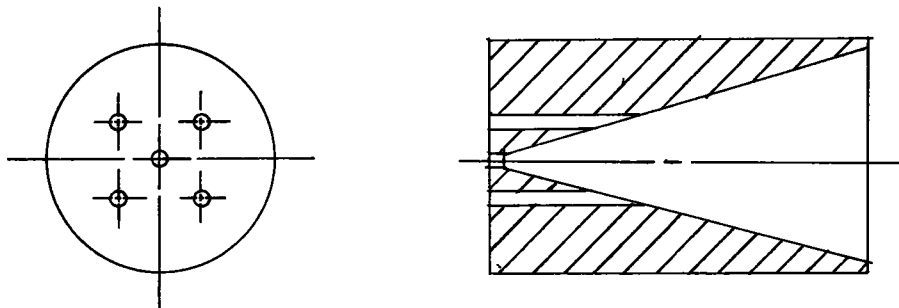


FIGURA 37, Boquilla de Trabajo

Se recomienda que el juego radial del tornillo respecto al cilindro

$$J = 0.1 \text{ mm} = 0.01 \text{ cm}$$

$$\rightarrow D_{\text{ext.tornillo}} = 8.5 \text{ cm} - 2(0.01) \text{ cm} = 8.48 \text{ cm}$$

Como en la zona de compresión $h = 0.5$

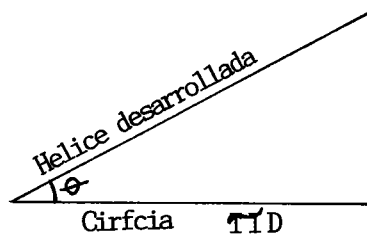
$$\rightarrow D_{\text{raiz}} = 8.48 - 2(0.5) = 7.48 \text{ cms (zona compresión)}$$

Ancho cresta filete $e = (0.06 - 0.1) D$

Para ser conservativos se toma:

$$e = 0.1 D = 0.1 \times 8.48 \text{ cm} = 0.848 = 0.85 \text{ cm}$$

En un tornillo se cumple:



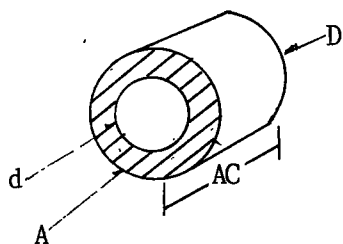
Avance = Paso = t

θ : ángulo de la hélice

$$\text{Tg } \theta = \frac{t}{\pi D} \quad t = \text{tg} \theta \pi D = 4.69 \text{ cms}$$

$$\text{Ancho del canal} = t - e = 4.69 \text{ cms} - 0.85 \text{ cm}$$

$$A.C = 3.84 \text{ cm}$$



$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$

$$Vol = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \times A.C.$$

FIGURA 38. Volumen en la zona de Compresión

$$Vol_c = \frac{\pi}{4} (8.5 \text{ cm})^2 - (7.48 \text{ cm})^2 \times 3.84 \text{ cm}$$

$$Vol_c = 49.15 \text{ cm}^3$$

De gráficos obtenidos se estima conveniente una compresión del volumen inicial de 55%

Relación de compresión $R_c = 0.55$

$$R_c = 1 - \frac{V_f}{V_i} \quad \rightarrow \quad V_i = \frac{V_f}{1 - R_c}$$

$$V_i = \frac{49.15 \text{ cm}^3}{1 - 0.55} = 109.22 \text{ cm}^3 \text{ (volumen zona alimentación)}$$

$$Vol_i = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \times A.C.$$

$$\frac{Vol_i}{\frac{\pi}{4} \times A.C} = D^2 - d^2 \quad D^2 - \frac{Vol_i}{\frac{\pi}{4} \times A.C} = d^2$$

$$dr^2 = (8.5 \text{ cm})^2 - \frac{109.22 \text{ cm}^3}{\frac{\pi}{4} \times 3.84 \text{ cm}} = 36.03 \text{ cm}^2$$

$$dr = 6 \text{ cms}$$

$$\rightarrow \text{Altura del filete } h = \frac{8.48 - 6}{2} = 1.24 \text{ cm}$$

7.2 POTENCIA DE DISEÑO : (Ec. 9) para realizar compresión

$$HP = \frac{\pi^2 D^2 N h \text{ Sen}\theta \text{ Cos}\theta}{2 \cos^2 \theta} \Delta P$$

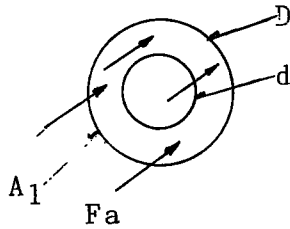
$$HP = \frac{\pi^2 (8.48 \text{ cm})^2 \times 98 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \times 0.5 \text{ cm} \cdot \text{Sen}10^\circ \text{Cos } 10^\circ}{2 \text{ Cos}^2 10^\circ} 115 \text{ Kg/cm}^2$$

$$HP = \frac{683919 \frac{\text{Kg-cm}}{\text{min}}}{1.9396} = 352608 \frac{\text{Kg-cm}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} = 58.76 \frac{\text{Kg-m}}{\text{seg}}$$

$$HP = 58.76 \frac{\text{Kg-m}}{\text{seg}} \times \frac{0.01315 \text{ HP}}{1 \frac{\text{Kg-m}}{\text{seg}}} = 0.77$$

7.3 CALCULO FUERZA AXIAL

La Fa encontrada en la máquina prototipo de 710 Kg, actua en la misma sobre un area A_1 :



$$F_a = P \times A_1$$

A_1 = área

F_a = fuerza axial

P = presión

$$P = \frac{F_a}{A} = \frac{710 \text{ Kg}}{\frac{\pi}{4} [(3.8)^2 - (2.8)^2]} = 137 \text{ Kg/cm}^2$$

FIGURA 39. Superficie de Acción de la F_a

Considerando que la presión necesaria de extrusión es 137 Kg/cm^2 se tiene:

$$A_2: \text{area tornillo máquina} = \frac{\pi}{4} [(8.48 \text{ cm})^2 - (7.48 \text{ cm})^2] = 12.53 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow F_a = P \times A = 137 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 12.53 \text{ cm}^2 = 1717 \text{ Kg}$$

$$F_a = 1717 \text{ Kg} \times 9.806 \text{ N/Kg} = 16837 \text{ N} = 16.837 \text{ KN}$$

7.4 CALCULO DEL TORQUE

La potencia consumida para realizar la compresión es 0.77 H.P.

$$\rightarrow T = \frac{\text{HP} \times 63000}{\text{RPM}} = \frac{0.77 \times 63000}{98} = 495 \text{ Kg.cm}$$

Asumiendo un factor de seguridad igual a 2, se trabaja con un $T=990 \text{ Kg.cm} = 97.92 \text{ N-m}$

La potencia necesaria:

$$HP = \frac{990 \times 98}{63000} = 1.54 \text{ H.P.}$$

7.4.1 Potencia consumida

Es necesario tener en cuenta la potencia que se pierde por fricción, durante el transporte de la harina, contra las paredes del cilindro.

Asumiendo la F. empuje = $F_a = 1717$ kg. Suponiendo, conservativamente que $F_a = N$ y $u = 0,60$ (el valor más alto alcanzado en los ensayos)

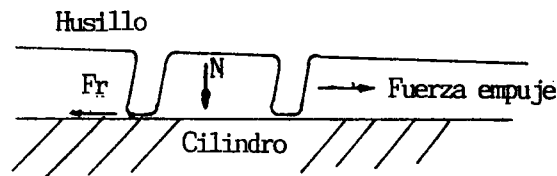


FIGURA 40 Fricción en el cilindro

$$Fr = uN = 0,60 \times 1717 = 1030,2 \text{ kg.}$$

$$\text{Potencia} = Fr \cdot N.t. \quad \text{Potencia} = 1030,2 \text{ kg} \times 98 \times 4.69 \text{ cm} = 473500 \frac{\text{kg.cm}}{\text{min}}$$

$$N: \text{rpm} \quad \text{Potencia} \frac{473500 \text{ kg.cm}}{60 \text{ seg.}} \times \frac{1 \text{ min}}{100 \text{ cm}} \times 1 \text{ m} = 78.9 \text{ kgm/seg}$$

$$t: \text{paso} \quad \text{Pot} = 78,9 \text{ kgm/seg} \times \frac{1 \text{ HP}}{76.04 \frac{\text{kgm}}{\text{seg.}}} = 1,037 \text{ HP.}$$

Potencia total = 1.54 HP + 1,037 H.P. = 2.57 HP

Debido a los bajos recursos de Molinos Aurora, es necesario utilizar como sistema motriz para la máquina un regulador de velocidad que ellos poseen, compuesto por su motor, poleas de velocidad variable y un reductor.

El sistema resulta conveniente porque permite regular la velocidad en un rango bastante amplio y poder determinar así la velocidad de trabajo más eficiente.

7.4.2 Características del Variador

Motor: 5 HP (3.73 Kw)	Velocidad de salida:
1200 rpm	máxima : 860 rpm
Voltaje 220/440	mínima: 123 rpm
Amperaje 18,1/9,1	

Sabiendo que el mayor torque lo entrega cuando está trabajando a rpm mínima = 123, diseñamos con este torque:

$$T_1 = \frac{HP \times 63000}{N} = \frac{5 \times 63000}{123} = 2561 \text{ Kg. cm (Torque en el eje de salida del reductor).}$$

Suponiendo una relación de Transmisión $i = 2$ entre el eje principal de la máquina y la salida del regulador, las velocidades de giro en en eje principal de la máquina son:

Velocidad máquina : máxima = 430 rpm.

mínima = 61.5 rpm

La velocidad de trabajo calculada 98 rpm se encuentra en el rango.

Torque en el eje de la máquina:

$$T_2 = 2 \times T_1 = 2561 \times 2 = 5122 \text{ Kg. cm} = 502.30 \text{ n-m}$$

7.5 SELECCION DE LA CADENA*

1. Se supone inicialmente un piñón motriz de 19 d.

- ## 2. Factor de selección

Carga medianamente impulsiva

Piñón 19d. Cadena BS.

Entrada Transmisión : Motor eléctrico

- ### 3. Relación de Transmisión $i = 2$

4. Número de dientes de la rueda

Rueda = 19 x 2 = 38 d

- ### 5. Potencia de Selección en Kw

$$\text{Pot. S}_1 = \text{Pot. Trans} \times F_{S1} = 3,73 \text{ Kw} \times 1,25 = 4,66 \text{ Kw}$$

- ## 6. Seleccionar la Transmisión

De Gráfico; con la Pot. S. y rpm del piñón encontramos:

Cadena 2 ramales 3/4" (19.05 mm)

- ## 7. Agujero piñones

piñon 19d agujero mínimo = 28 mm
 máximo = 65 mm

* Realizado usando catálogos de la Reynold

piñon 38 d. agujero mínimo = 38 mm

máximo = 65 mm

8. Distancia entre ejes:

De Tabla 900 mm

Longitud. Cadena : L

$$L = \frac{n + N}{2} + A + \frac{x}{A} + y$$

$$A = \frac{2 \times 900}{19.05} = 94.48$$

$$\frac{h + N}{2} = \frac{19 + 38}{2} = 28.5$$

$$\frac{x}{A} = \frac{18.28}{94.48} = \frac{0.19}{123.17}$$

$$y = \frac{0.83}{124} \text{ es labones}$$

n: # d. piñón

N: # d. rueda

$$A = \frac{2C}{P}$$

C: distancia entre ejes propues_ ta (mm).

P: paso cadena (mm)

x: Factor

y: Número de eslabones a añadir para obtener el próximo número por superior.

Colocando tensor $L = 124 + 2 = 126$ eslabones

7.6 DISEÑO DEL EJE

7.6.1 Distribución de Fuerzas. (ANEXO)

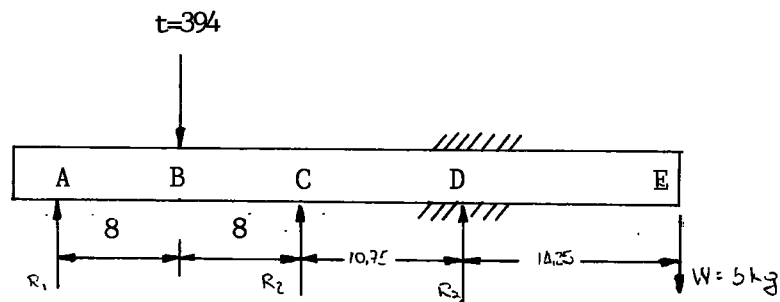


FIGURA 41. Distribución de Fuerzas en el Eje

7.6.2 Cálculo de Fuerzas y Reacciones

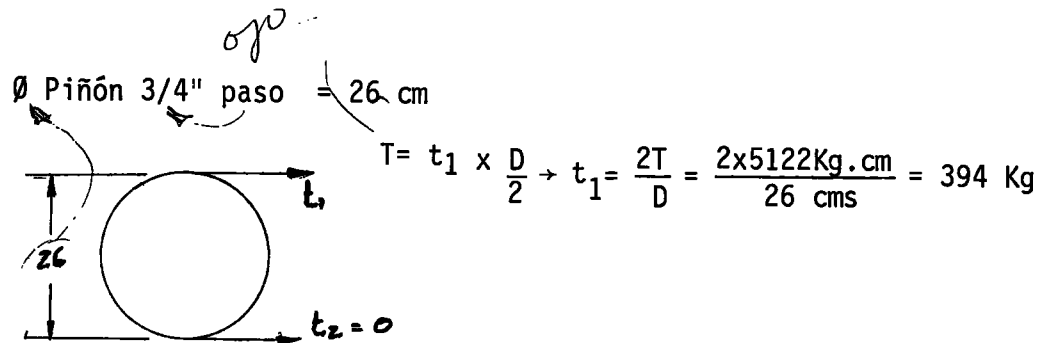
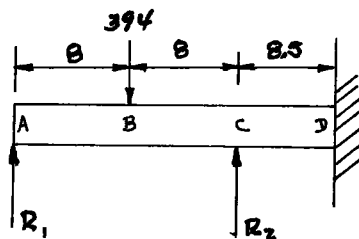
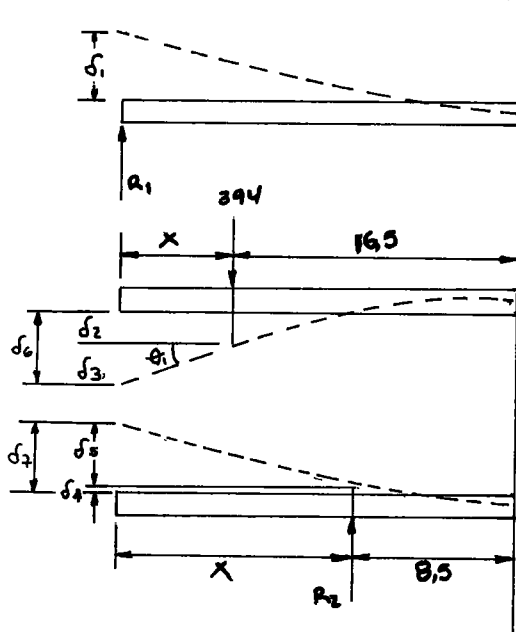


FIGURA 42. Tensiones en el Piñón de Cadena

Suponemos



Utilizando el método de superposición;



$$EI \delta_1 = \frac{ML^2}{3} = \frac{24.5 R_1 (24.5)^2}{3} = 4902 R_1$$

$$EI \delta_2 = -\frac{ML^2}{3} - \frac{ML}{2} \cdot x$$

$$EI \delta_3 = \frac{-6501 (16.5)^2}{3} - \frac{6501 \times 16.5 \times 8}{2}$$

$$EI \delta_4 = -1019031$$

$$EI \delta_5 = \frac{ML^2}{3} + \frac{ML}{2} \cdot x$$

$$EI \delta_6 = 204 R_2 + 578 R_2 = 782 R_2$$

FIGURA 43 Deflexión en Vigas

$$\Sigma EI \delta_A = 0$$

$$4902 R_1 + 782 R_2 - 101931 = 0 \quad (1)$$

$$\Sigma F_y = 0 \quad R_1 + R_2 + R_3 - 394 - 5 = 0$$

$$R_1 + R_2 + R_3 - 399 = 0 \quad (2)$$

$$\Sigma MA = 0 \quad - 3152 + 16R_2 + 26.75 R_3 - 205 = 0$$

$$16R_2 + 26.75 R_3 - 3357 = 0 \quad (3)$$

$$R_3 = 125.5 - 0.6 R_2 \quad (4)$$

Reemplazo 4 en 2

$$R_1 + R_2 + 125.5 - 0.6R_2 - 399 = 0$$

$$R_1 + 0.4R_2 - 273.5 = 0$$

$$R_2 = 683.75 - 2.5 R_1 \quad (5)$$

Reemplazo 5 en 1

$$4902R_1 + 534692.2 - 1955 R_1 - 1019031 = 0$$

$$2947R_1 - 484338.8 = 0$$

$$R_1 = 164.34 \text{ Kg}$$

Reemplazo R_1 en 5

$$R_2 = 272.9 \text{ Kg}$$

Reemplazo R_2 en 4

$R_3 = -38.24 \text{ Kg}$ (el signo nos indica que R_3 va en sentido contrario al dibujado)

7.6.3 Diagrama de momentos

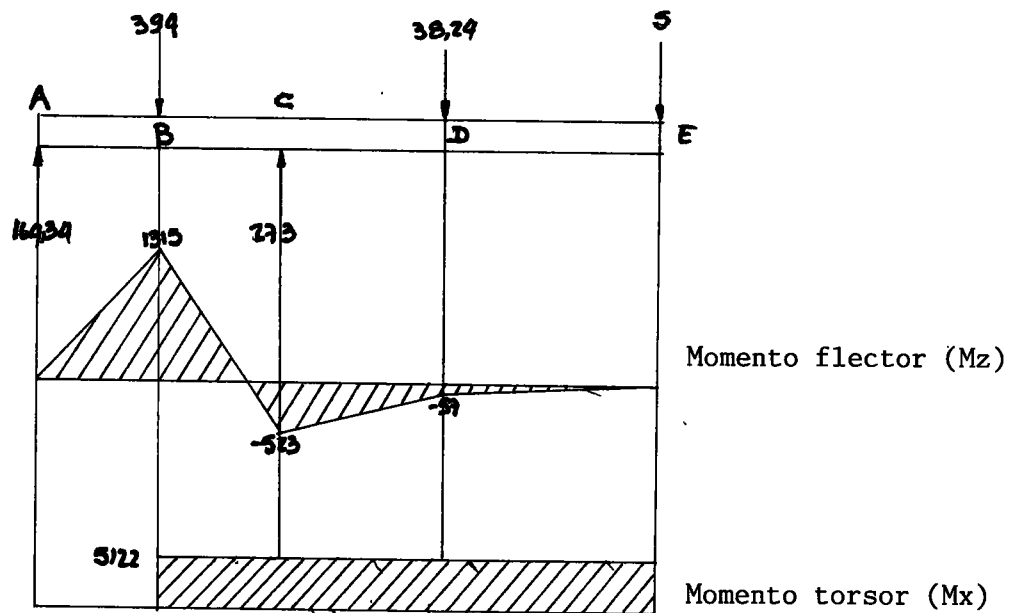


FIGURA 44. Diagrama de Momentos

Se tiene:

Sección Crítica B

Mx = 5122 Torsión	Material Eje
Mz = 1315 (Compresión)	Acero 4140
Mx = 5122 Torsión	Sut=10600 kg/cm ²
Mz = 1315 Tracción	Sy = 9000 kg/cm ²

7.6.4 Cálculo del Diámetro del Eje

Ecuación Diseño (Entoque de Sines)*

$$\frac{Se}{F.S.} = \frac{32 M_z}{d^3} \quad F.S. = 2.5 \text{ (factor de seguridad)}$$

Se: límite de resistencia a la fatiga del elemento

$$Se = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S'_e \quad d = \left(\frac{32 M_z F.S.}{Se} \right)^{1/3}$$

$$S'_e = 0.5 s_{ut} = 5300 \text{ kg/cm}^2$$

$$K_a = 0.68 \text{ (factor de acabado superficial)}$$

$$K_b = 0.85 \text{ (factor de tamaño)}$$

$$K_c = 0.86 \text{ (factor de confiabilidad)}$$

$$K_d = 0.97 \text{ (factor de temperatura)}$$

$$K_e = 0.62 \text{ (factor de concentración de esfuerzos)}$$

$$Se = 1584 \text{ Kg/cm}^2$$

$$d = \left(\frac{32 \times 1315 \times 2.5}{1584} \right)^{1/3} = 2.76 \text{ cm}$$

Para comprobar se calcula F.S. por la fórmula de diseño para cargas estáticas.

$$F.S. = \frac{S_y d^3}{32 M_z^2 + M_x^2} = \frac{9000 \times (2.76)^3}{32 (13.15)^2 + (5122)^2} = F.S. = 3.5$$

* SHIGLEY, Joseph Eduard. Diseño en Ingeniería Mecánica. 2a. Edición
México, McGraw Hill. 1978 p. 582

Como el eje es un elemento importantísimo dentro de la máquina compruebo su cálculo utilizando otro enfoque.

Aplico la teoría de falla en fatiga de Soderberg y encuentro el esfuerzo $T_{eq.}$, luego aplico la teoría de falla estática de Mises Hackey y encuentro un factor de seguridad F.S.

$$\text{Debido a } M_z \quad \sigma_x = \frac{M_z \cdot C}{I} \quad c = \frac{d}{2} \quad d = 30\text{mm} = 3 \text{ cms.}$$

$$I = \frac{d^4}{64} \quad M_z = 1315 \text{ kg.cm}$$

$$\sigma_x = \frac{32 M_x}{d^3}$$

$$\sigma_x = \frac{32 \times 1315}{(3)^3} = 496 \text{ kg/cm}$$

$$\text{Debido a } M_x \quad t = \frac{16 \cdot T}{d^3} \quad T = 5122 \text{ kg.cm}$$

$$d = 3 \text{ cm.}$$

$$t = 16 \times 5122 = 966 \text{ kg/cm}$$

$$\sigma_{x\max} = 496 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tracción)} \quad T_y = 0$$

$$\sigma_{x\min} = 496 \text{ kg/cm}^2 \text{ (compresión)}$$

$$\tau_{xy\max} = \tau_{xy\min} = 966 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{1\max} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2}{2} + \tau_{xy}^2$$

$$\sigma_{1\max} = 496 + \frac{496^2}{2} + 966^2 = 1245,32$$

$$\sigma_{i\min} = \frac{496}{2} - \frac{496^2}{2} + (966)^2 = 749,32$$

$$\sigma_{2\max} = -\frac{496}{2} - \frac{496^2}{2} + 966^2 = 749,32$$

$$\sigma_{2\min} = -\frac{496}{2} - \frac{496^2}{2} + (966)^2 = -1245,32$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{1\max} + \tau_{1\min}}{2} = \frac{1245,32 + (-749,32)}{2} = 248$$

$$\tau_m = \frac{\sigma_{1\max} - \tau_{1\min}}{2} = \frac{1245,32 - (-749,32)}{2} = 997,32$$

$$\sigma_{2m} = \frac{\sigma_{2\max} + \tau_{2\min}}{2} + \frac{749,32 + (-1245,32)}{2} = -248$$

$$\tau_{2m} = \frac{\sigma_{2\max} - \tau_{2\min}}{2} = \frac{749,32 - (-1245,32)}{2} = 997,32$$

Teoría de falla en fatiga

$$\sigma_{eq} = \sigma_m + \frac{S_y}{S_e} \times \tau_m \quad S_y = 9000 \text{ kg/cm}^2 \text{ (depende del material)}$$

$$S_e = 1584 \text{ kg/cm}^2 \text{ (calculada en el análisis anterior)}$$

$$\sigma_{eq1} = 248 + \frac{9000}{1584} \times 997,32 = 5914,59$$

$$\sigma_{eq2} = -248 + \frac{9000}{1584} \times 997,32 = 5418,59$$

Teoría de falla estática

$$\sigma_{eq} = \left(\frac{S_y}{F.S.} \right)^2 = (\sigma_{1eq})^2 + (\sigma_{2eq})^2 - \sigma_{1eq} \sigma_{2eq}$$

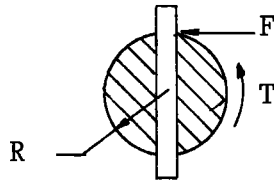
$$\left(\frac{9000}{f.s.} \right)^2 = (5914,59)^2 + (5418,59)^2 - (5914,59)(5418,59)$$

$$F.S. = \frac{9000^2}{32294754} = 1,58$$

El valor de este factor de seguridad nos está indicando que el eje tiene una resistencia a la fatiga un 60% mayor de su límite de resistencia a la fatiga.

7.7 DISEÑO DEL PASADOR

Elemento de unión entre el husillo y el eje



$$F = \frac{T}{R} = \frac{5122 \text{ Kg.cm}}{1.5 \text{ cms}} = 3415$$

FIGURA 45. Fuerzas sobre el pasador

Pasador Acero 4140 $S_y = 9000 \text{ Kg/cm}^2$

Con un F.S. = 2

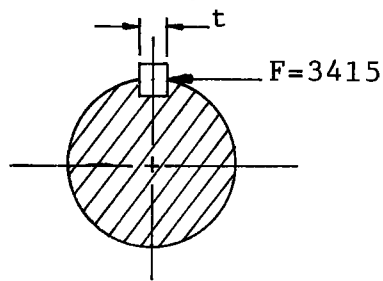
$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{4F}{\pi D^2}$$

Teoría Energía de Distorsión = $S_{sy} = 0.577 S_y = 5193 \text{ Kg/cm}^2$

$$\frac{S_{sy}}{F.S.} = \frac{4F}{\pi D^2} \quad D = \sqrt{\frac{4xFxF.S.}{S_{sy} \pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 3415 \times 2}{5193 \times \pi}}$$

$$D = 1.30 \text{ cms} = 13 \text{ mm}$$

7.8 DISEÑO CUÑA (Elemento de unión entre el Piñón y el Eje)



$$\text{Suponiendo } t = \frac{5''}{16} = 0.79 \text{ cms}$$

L = longitud chaveta

FIGURA 46. Fuerzas sobre la cuña

Cuña Acero UNS G10100 (estirado en frío)

$$S_y = 3093 \text{ Kg/cm}^2 \quad S_{ys} = 0.577 S_y = 1784 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F.S. = 2$$

$$\frac{S_{sy}}{F.S.} = \frac{F}{tL} \quad \rightarrow \quad L = \frac{F \times F.S.}{t \times S_{sy}} = \frac{3415 \times 2}{0.79 \times 1784} = 4.84 \text{ cms} \quad 5 \text{ cms}$$

7.9 SELECCION DE LOS RODAMIENTOS

7.9.1 Rodamientos Radiales

Para soportar las cargas radiales, se tienen tres puntos de apoyo (Fig. 41), de los cuales dos van en rodamientos y uno en buje. En los apoyos de rodadura se ha determinado colocar chumaceros, por su facilidad de instalación y porque se adaptan perfectamente a la estructura de la máquina.

Las chumaceras se usan principalmente en máquinas agrícolas, máquinas para la construcción, etc. Una chumacera consta de un rodamiento rígido de bolas con superficie exterior esférica, obturado a ambos lados y de un soporte de fundición gris o de chapa prensada. Las chumaceras se montan casi exclusivamente como rodamientos fijos. Por ello son apropiados principalmente para los apoyos de ejes cortos y para aplicaciones en las que solo hay que contar con dilataciones pequeñas. Los alargamientos pequeños pueden absorberse con el juego axial de los rodamientos.

Tenemos: Ø Eje 30 mm

Chumacera SG16206

cap. carga dinámica = 15KN

cap. carga estática = 10KN

Se prueba el más cargado: 273 Kg fuerza radial

$$F_i = \frac{C}{P} \cdot f_n$$

$$f_i = 3 \text{ (prensas de extrusión por tornillo sinfin)}$$

$$f_n = 0.693 \text{ (depende de los rpm de giro)}$$

$$P = Fr = 273 \text{ Kg} = 2.68 \text{ KN}$$

$$C = \frac{f_i P}{f_n} = \frac{3 \times 2.68}{0.693} = 11.60 \text{ KN} < 15 \text{ KN (el rodamiento sirve)}$$

Según Tabla con $f_i = 3 \rightarrow$ Duración $L_h = 14000$ horas

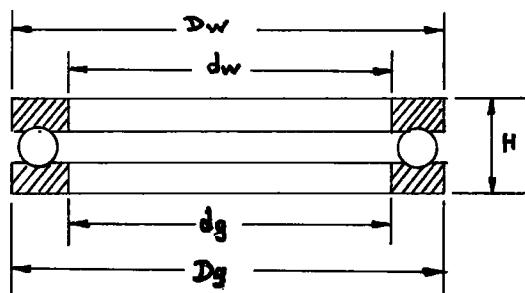
7.9.2 Rodamiento Axial

Teniendo $F_a = 1717 \text{ Kg} = 16.83 \text{ KN}$

$$f_i = \frac{C}{P} \cdot f_n \quad F_i = 3 \quad f_n = 0.693 \quad P = F_a = 16.83 \text{ KN}$$

$$C = \frac{3 \times 16.83}{0.693} = 72.86 \text{ KN}$$

Por lo tanto sirve un rodamiento FAG 51407 $C = 76.5 \text{ KN}$



$$d_w = 35 \text{ mm}$$

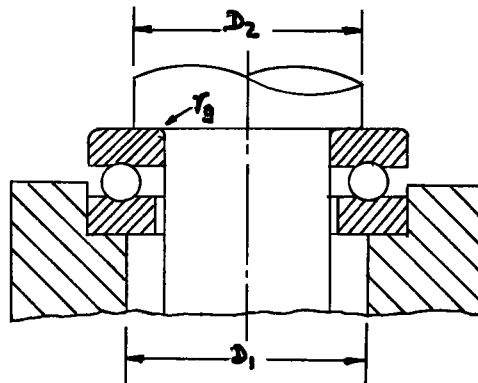
$$d_g = 37 \text{ mm}$$

$$D_w = 80 \text{ mm}$$

$$D_g = 80 \text{ mm}$$

$$H = 32 \text{ mm}$$

FIGURA 47. Rodamiento FAG 51407



$$D_{1\max} = 53 \text{ mm}$$

$$D_{2\min} = 62 \text{ mm}$$

$$r_{g\max} = 1 \text{ mm}$$

FIGURA 48. Recomendación en montaje: FAG51407

7.10 DISEÑO DEL ALOJAMIENTO A CAJA PARA EL RODAMIENTO AXIAL

Es necesario construir un alojamiento o caja al rodamiento axial, a través de la cual se transmite la fuerza axial a la carcasa.

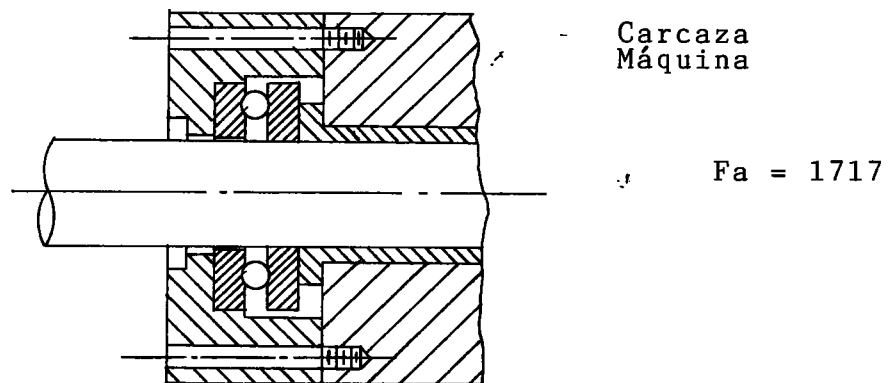


FIGURA 49. Alojamiento del Rodamiento Axial.

7.10.1 Tornillos de Fijación

Hay que calcular el \emptyset y la cantidad de tornillos necesarios para soportar la F_a .

Utilizando tornillos SAE Grado 5

$$S_{ut} = 120 \text{ Ksi}$$

$$\sigma_{ad} = 21 \text{ Ksi}$$

$$\sigma_{ad} = 44 \text{ Ksi}$$

Se supone \emptyset tornillo = 1/4" UNC 20 Hilos/pulg.

$$\emptyset \text{ raíz} = 0.1887 \text{ pulg} \quad \text{Ar. } 0.0279$$

$$\text{Como } F_a = 1717 \text{ Kg} = 3777.4 \text{ lb}$$

$$\# \text{ Tornillos} = \frac{F_a}{\sigma_{ad} \times \text{Ar}} = \frac{3777.4 \text{ lb}}{44000 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} \times 0.0279 \text{ pulg}^2} = 3.07 \approx 4 \text{ tornillos}$$

7.11 CILINDRO

El cilindro de la máquina está sometido a una fuerte fricción ocasionada por el avance de la harina hacia la boquilla. Como se anoto anteriormente, es necesario que el acabado del cilindro sea más burdo que el acabado del tornillo, para que la fricción sea mayor con respecto al cilindro y la harina trata de "pegarse" al mismo y logre avanzar. Si la harina se pega al tornillo, ésta gira solidaria con el tornillo y por lo tanto no avanza.

Debido a que el juego entre la cresta de los filetes del tornillo, y la pared interna del cilindro debe conservarse mínima para evitar el flujo de pérdidas, se construye el cilindro como una pieza de recambio, con una dureza menor que la del tornillo, ya que es mucho más barato construir un cilindro que construir el husillo de la máquina.

•
El material a usar para construir el cilindro es acero 1020 con un tratamiento térmico de temple para alcanzar una dureza de 50-55 R.C. Las especificaciones de acabado y tolerancias aparecen en el dibujo respectivo.

7.12 CUERPO PRINCIPAL DE LA MAQUINA

El diseño y construcción del modelo para fundir el cuerpo o carcasa de la máquina, fué realizado por un experto modelista, siendo el aporte de molinos Aurora para la feliz culminación de este proyecto.

Su forma general cuenta con el visto bueno de los autores del proyecto, ya que permite el perfecto montaje y funcionamiento de los diferentes elementos que constituyen la máquina.

La forma general y sus especificaciones aparecen en los dibujos respectivos.

7.13 LA BOQUILLA

La boquilla es la pieza fundamental para conformar el perfil deseado del fideo. Como en la producción actual la máquina saca fideos totalmente irregulares en cuanto al tamaño, se estableció tratar de conservar esa forma tradicional para evitar impactos negativos por parte del consumidor.

Es necesario que los cinco agujeros de la boquilla tengan diferente diámetro para así obtener fideos de varios calibres. Además hay que grabar los agujeros de salida con pequeñas estrias para obtener fideo estriado.

La forma general de la boquilla obedece a experimentaciones realizadas en la máquina prototipo construido para los ensayos. El material para su construcción es un acero 1045 que se le puede dar un buen tratamiento térmico para lograr mayor dureza y resistencia a la fuerte fricción que se genera en la misma.

Los detalles de montaje aparecen en los dibujos. Es importante anotar que la sujeción de la boquilla se realiza lo más simple posible para permitir un fácil montaje, ya que se hace necesario bajarla cada que se termina de procesar harina, para permitir una buena limpieza del interior de la máquina, y evitar interrupciones indeseables cuando se inicia el proceso nuevamente. Se ha podido observar la contextura tan dura que adquiere la harina, cuando se deja secar después de haberse sometido a altas presiones y temperaturas.

8 SISTEMA DE PROTECCION

Siempre que se diseñe una máquina se hace necesario implementarla con sistemas de protección para los elementos de mayor importancia, los mas costosos o los que en un momento dado puedan ocasionar un accidente.

Para evitar accidentes de trabajo es importante dotar la máquina con las guardas necesarias para proteger los elementos en movimiento que en cualquier instante puedan entrar en contacto con el operario.

En la protección de los elementos costosos como el motor, se utilizan sistemas de seguridad eléctricos que se gradúan para permitir el emperaje del trabajo del motor. Si por algún motivo la máquina se forza y el motor consume mayor corriente de la permitida, el sistema se dispara interrumpiendo el paso de corriente y evitando que el motor se quemé. El problema de estos sistemas es su alto costo.

También se pueden implementar elementos de protección mecánicos como son los pasadores fusibles que se diseñan para

perm, itir un valor límite de carga, siempre inferior al que causarí la rotura de algú elemento de la máquina.

Por costos el molino productor de fideos, está dotado de un pasador fusible diseñado con base al torque a transmitir en el eje principal de la máquina, y que protege el eje y el motor de cualquier carga excesiva. Está localizado en el piñon que va montado sobre el eje, y su diseño aparece a continuación:

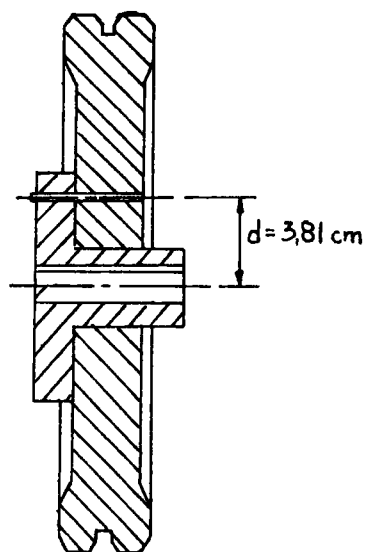


FIGURA 50 Pasador fusible

Torque en el eje: $T = 5000 \text{ kg-cm}$

Fuerza cortante sobre el pasador F .

$$T = F \times d$$

$$F = \frac{T}{d} \qquad F = \frac{5000 \text{ kg-cm}}{3,81 \text{ cm.}} = 1312 \text{ Kg}$$

Material del pasador: Bronce Comercial

$$S_y = 4359 \text{ kg/cm}^2$$

$$= \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{D^2}{4}}$$

Teoría de la energía de distorsión:

$$S_y = 0,577 S_y = 2515,14 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{S_{sy}}{F.S.} = \frac{F}{\frac{D^2}{4}} \qquad \text{Factor de seguridad } F.S. = 1.0$$

$$D = \frac{4F \times F.S.}{S_{sy} \times}$$

$$D = \frac{4 \times 1312 \text{ kg} \times 1}{2515 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times}$$

$$D = 0,8149 \text{ cm} = 0,320 \text{ pulg} \quad \frac{5}{16} \text{ pulg.}$$

9 CONCLUSIONES

- 9.1 En el proceso de extrusión de harinas es muy importante tratar de mantener coeficientes de fricción bajos, debido a que gran parte de la potencia consumida se pierde en fricción generando calor. Por esto es necesario procesar la harina controlando muy bien la humedad y la temperatura, haciendo mucho énfasis en la temperatura, que se eleva rápidamente en estos procesos, lo cual por encima de 240°F es un factor altamente negativo debido a que adquiere una contestura sumamente dura, pegándose a las paredes del cilindro e imposibilitando el trabajo.
- 9.2 Es de destacar las relaciones encontradas con las formulas de diseño usadas en la inyección de plásticos para el cálculo del tornillo sin fin, ya que es un aporte teórico valioso para el diseño de maquinaria en procesos análogos. Dichas formulas fueron afectadas por factores encontrados experimentalmente durante el desarrollo del trabajo.
- 9.3 Es importante destacar la relación que debe existir entre el flujo o rata masica que permite procesar la boquilla y la cantidad de harina alimentada. Si la cantidad de harina alimentada es mayor que la extruida, se crea una sobrepresión en el cilindro, ocasionando un flujo de retroceso crecido y dificultad en la alimentación;

si ocurre lo contrario, o sea, harina alimentada menor que la capacidad de la boquilla, no se logra obtener la contes tura deseada en el fideo.

9.4 Desde el momento en que se concibio la idea de construir una nueva máquina para producir fideo para sopa, en molinos Aurora, se buscaba como objetivo primordial disminuir el alto consumo de energía que significa la producción en la actual máquina. Este objetivo ha sido ampliamente superado, logrando disminuir en el alto porcentaje, los costos de producción con el nuevo diseño.

Así : Máquina actual.

Potencia consumida 18 H.P. = 13.428 kw

Producción 8 horas = 900 kg.

Energía = 13.428 kw x 8 horas = 107,42 kw-h

Costo = $\frac{107.42 \text{ kw-h}}{900 \text{ kg.}}$ = 0.12 $\frac{\text{kw-h}}{\text{kg}}$ x $\frac{\$14}{\text{kw-h}}$ = \$1.68/kg

Nuevo diseño

Potencia consumida = 2.5 HP = 1.68 kw

producción 8 horas = 1000 kg

Energía = 1.68 kw x 8 h = 14,88 kw-h

Costo = $\frac{14.88 \text{ kw-h}}{1000 \text{ kg}}$ = 0.0148 $\frac{\text{kw-h}}{\text{kg}}$ x $\frac{\$14}{\text{kw-h}}$ = \$0.208/kg

% Reducción = 12.38%

Lo que significa un ahorro aproximado de \$40.000 mensuales en pago de energía.

9.5 Teniendo terminada y en funcionamiento la máquina, se evaluó el consumo de energía y de potencia mediante el amperímetro colocado para tal efecto, el cual permite también que el operario perciba cualquier funcionamiento anormal o sobrecarga durante su trabajo. Los resultados obtenidos son plenamente satisfactorios, ya que el motor trabaja en condiciones normales.

9.6 Debido a que toda sustancia o material que sea de consumo humano e inclusive animal, debe cumplir durante su procesamiento con reglas básicas de higiene, se hace necesario que todos los elementos que entran en contacto directo con el material se construyan de acero inoxidable para evitar cualquier tipo de contaminación. Otro de los cuidados a tener en cuenta en este proceso y que puede ser objeto de otra investigación, es la influencia que puede tener la temperatura que alcanzan los elementos de la máquina, principalmente la boquilla, sobre el estado proteínico del alimento.

9.7 La máquina puede ser complementada con el diseño de elementos o sistemas que estabilicen la producción, como por ejemplo un sistema de refrigeración para la boquilla, un sistema de corte del fideo al tamaño deseado, etc. Por el momento se ha dado un gran paso en el estudio del manejo de este tipo de materiales bastante abrasivos, como es el caso de la harina tra

tada en este proyecto. Se espera haber contribuido y servir como punto de referencia para futuras investigaciones.

BIBLIOGRAFIA

ANGUITA, Ramón D. Extrusión de Plásticos. Barcelona, España, Blume, 1975, pág. 340.

DAWES, Chester L. Electricidad Industrial, 2a. Edición, Barcelona, España, Reverte, 1981. Tomo 2, pág. 561.

FAG KUGELFISCHER Georg Schafer & Co. Programa Standard Fag. Catálogo 41500/2 S.A. Western, Germany, Weppert K.G., 1979, pág. 696.

FAIRES, Virgil Moring. Diseño de Elementos de Máquinas. Barcelona, España, Mantaner y Simón, 1970, pág. 783.

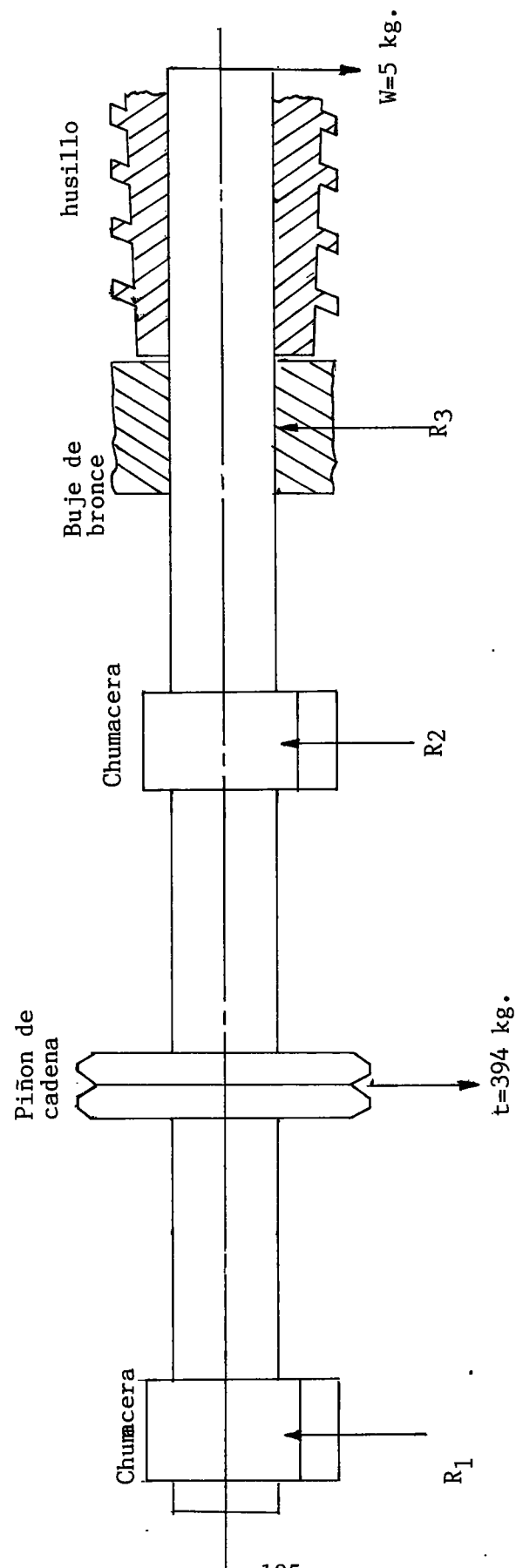
MARKS, Lionel S. Manual del ingeniero mecánico. 2a. Edición en español, Bogotá, Colombia McGraw-Hill Latinoamericana, 1982, V. 1 pág. 3-24.

MICHELETI, Gian Federico. Mecanizado por arranque de viruta. Barcelona España, Blume, 1980, pág. 426.

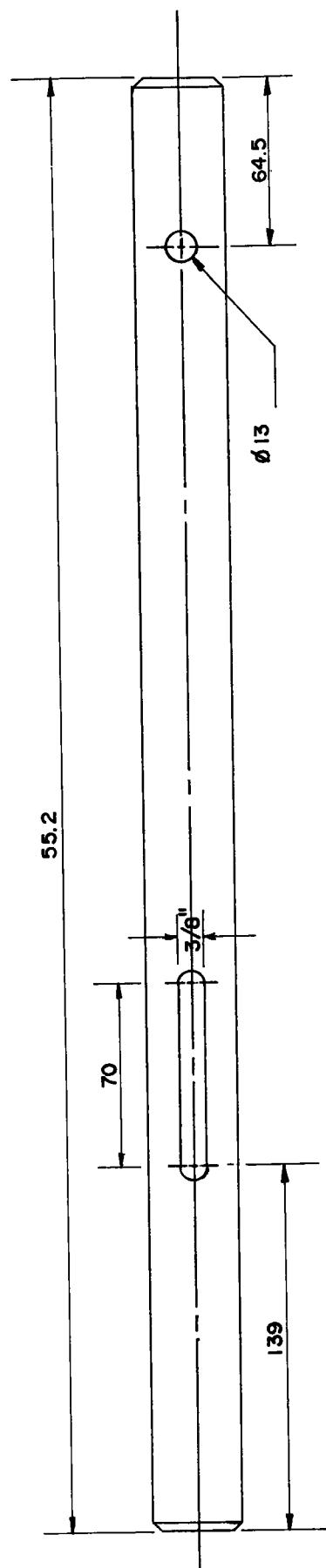
SAVGORODNY, V.K. Transformación de plásticos, Barcelona, España, Gustavo Gili, 1973, pág. 466.

SHIGLEY, Joseph Edward. Diseño en ingeniería Mecánica. 2a. Edición, México, McGraw-Hill, 1978, pág. 785.

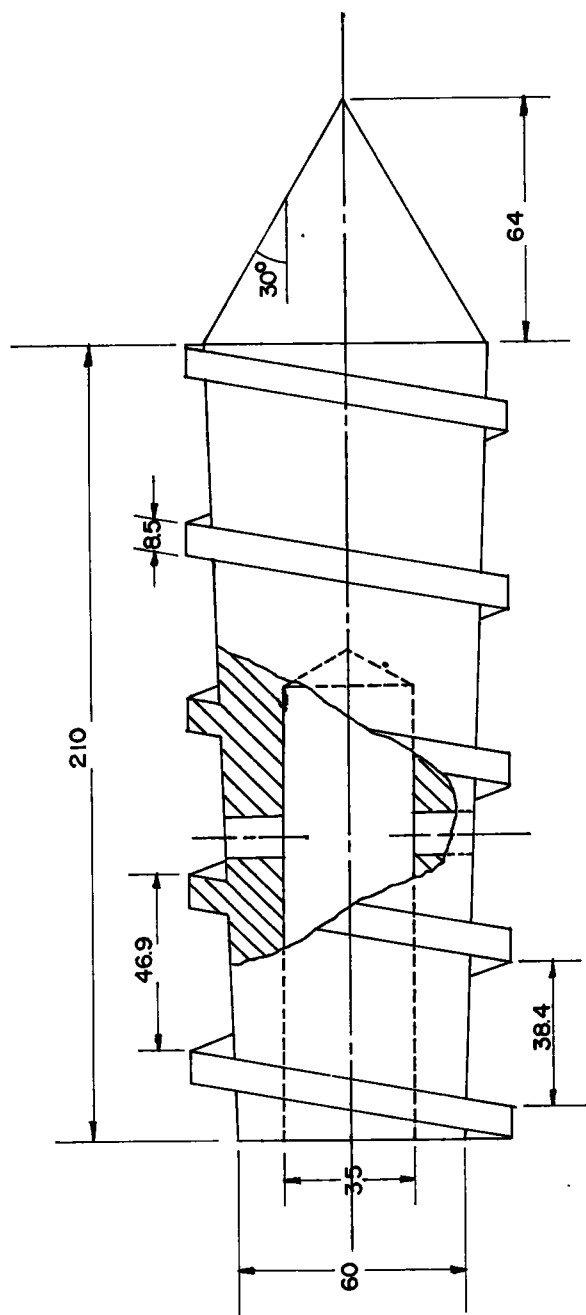
SINGER, Ferdinand L. Resistencia de Materiales, México, Harper & Row Latinoamericana, 1981, pág. 636.



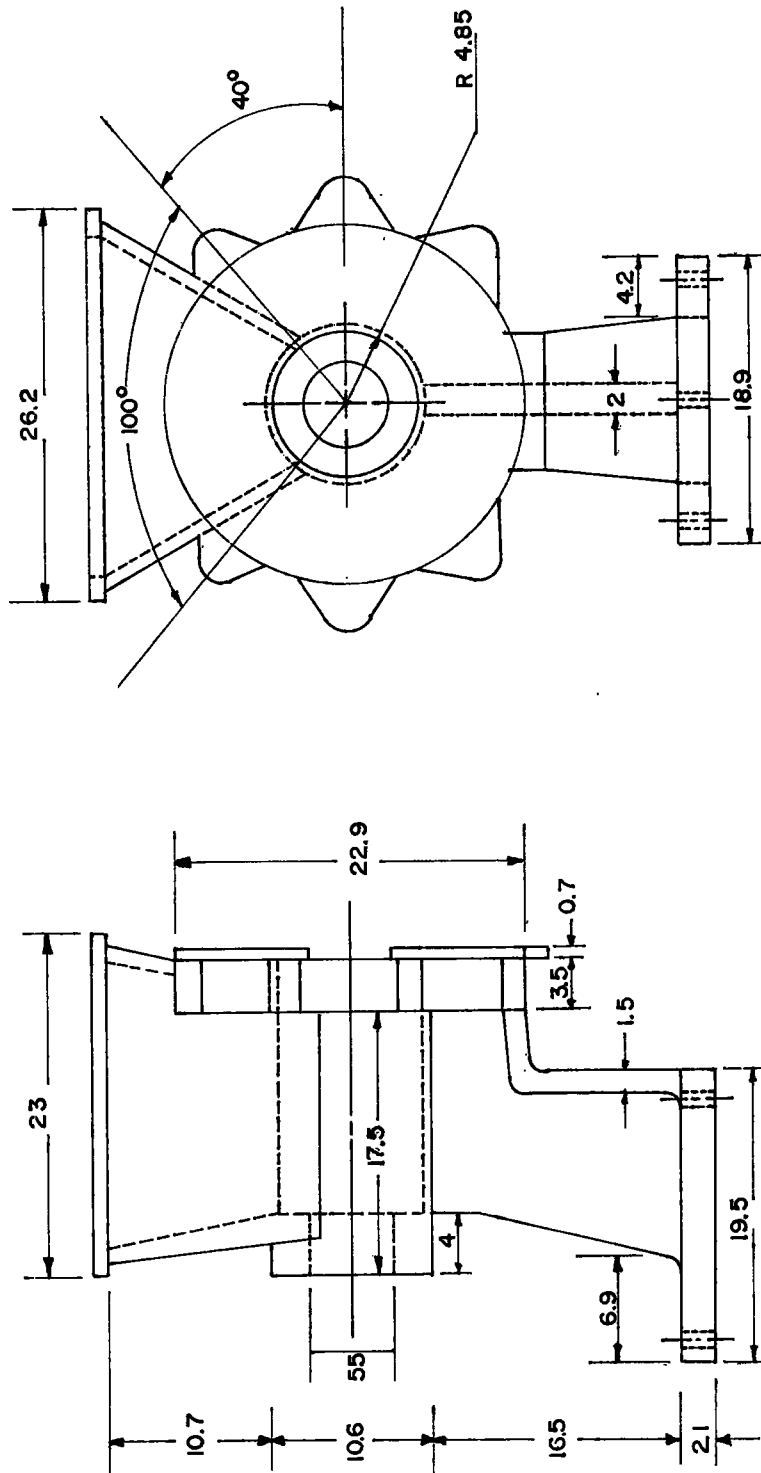
ANEXO 1 Esquema de la distribución de fuerza



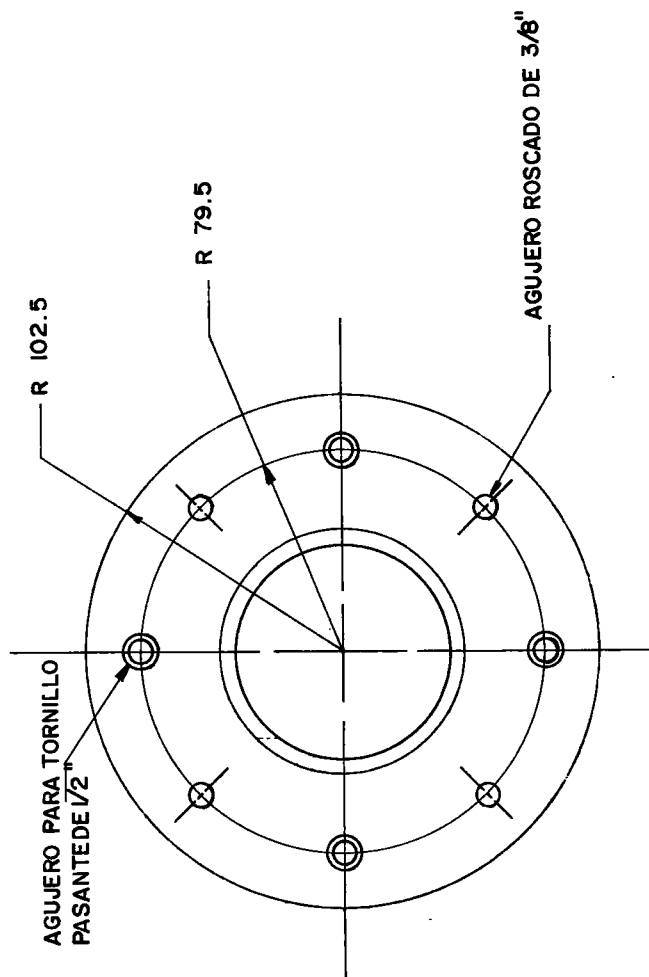
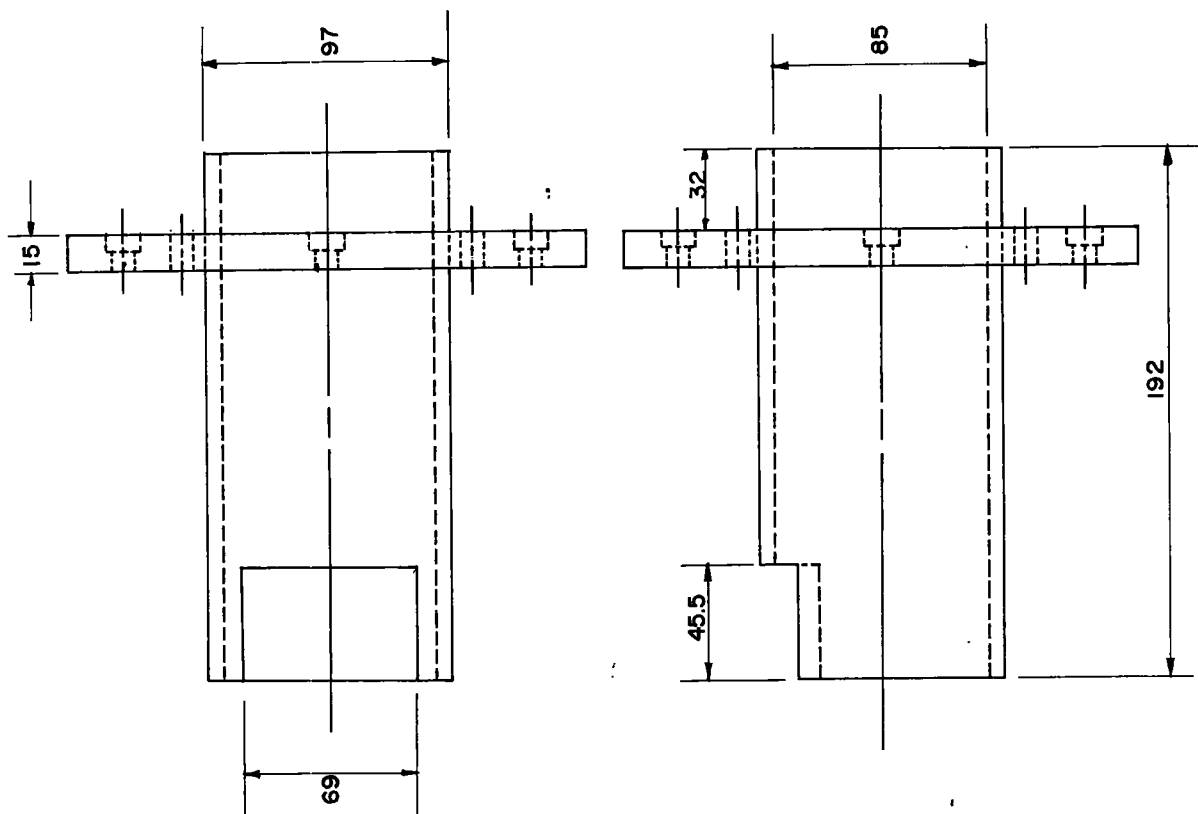
ANEXO 2 Plano del eje principal de la máquina



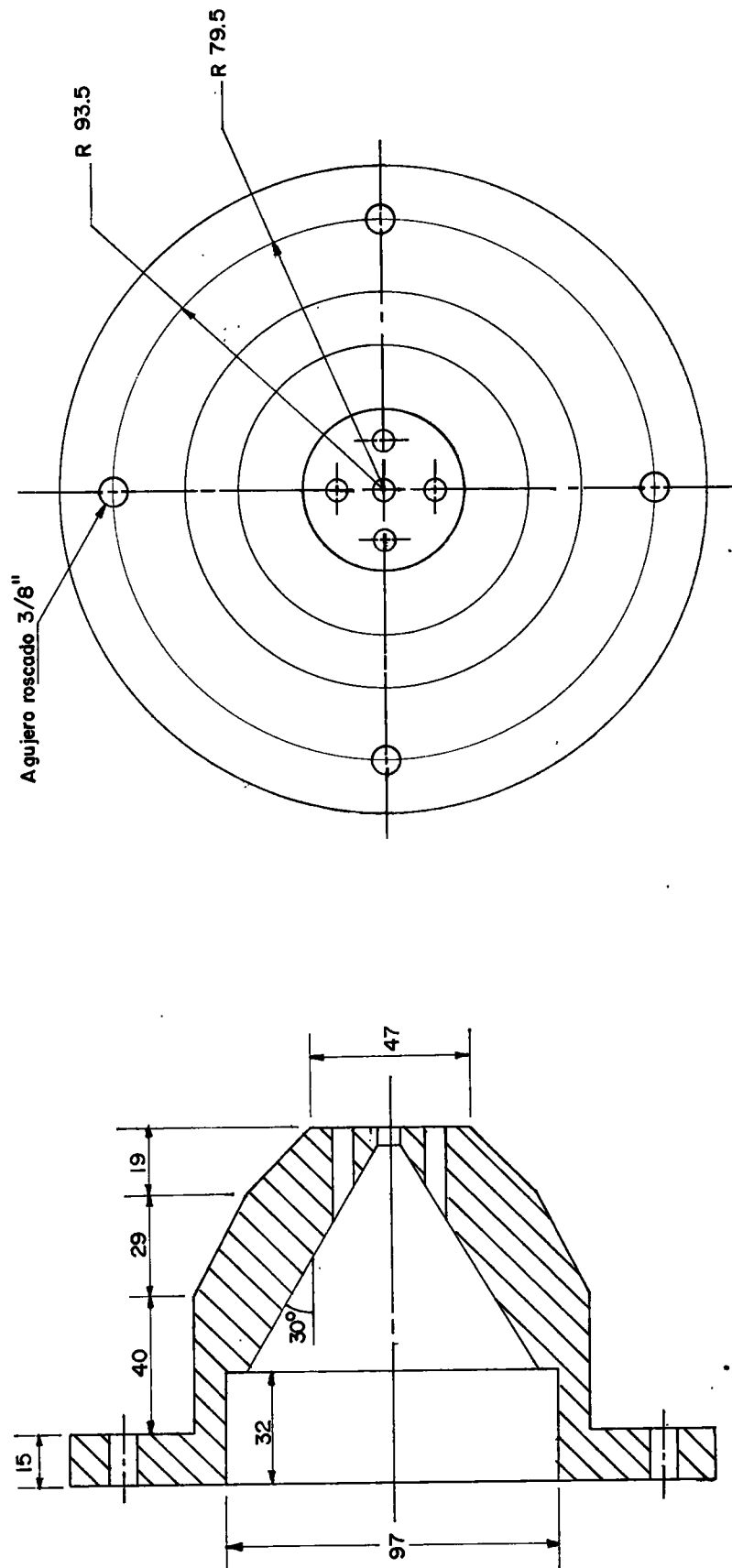
ANEXO 3 Plano del husillo o tornillo sin fin



ANEXO 4 Plano de la carcaza

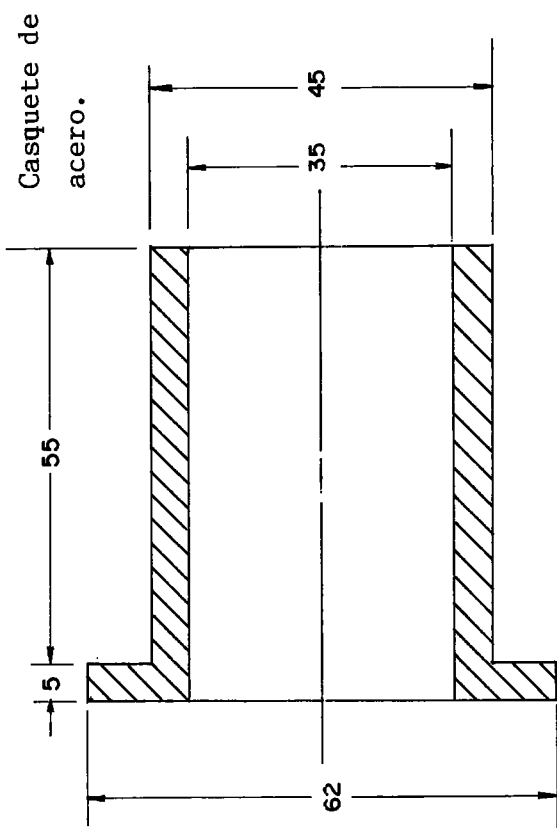
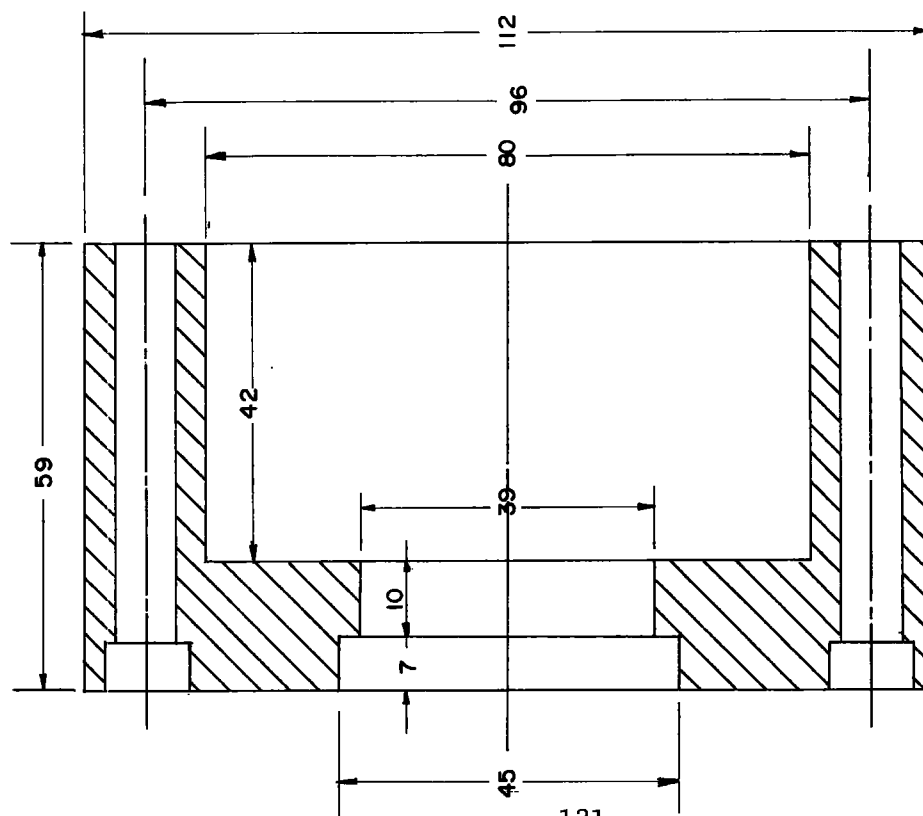


ANEXO 5 Plano de la camisa o cilindro

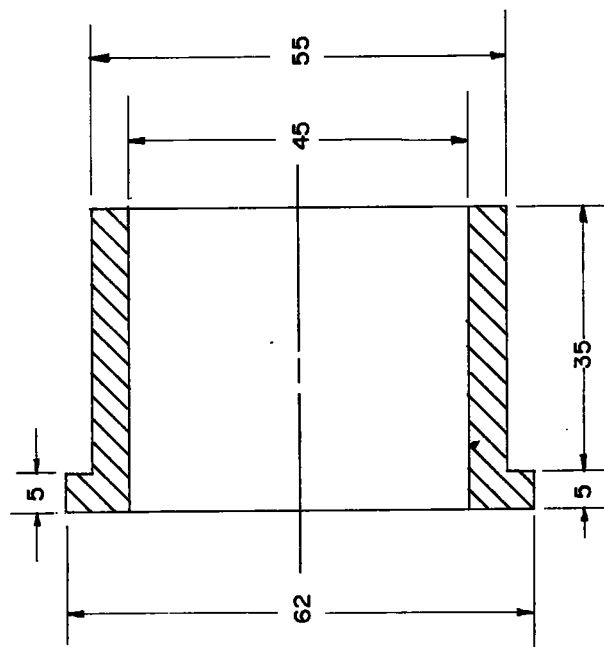


ANEXO 6 Plano de la boquilla de extrusión

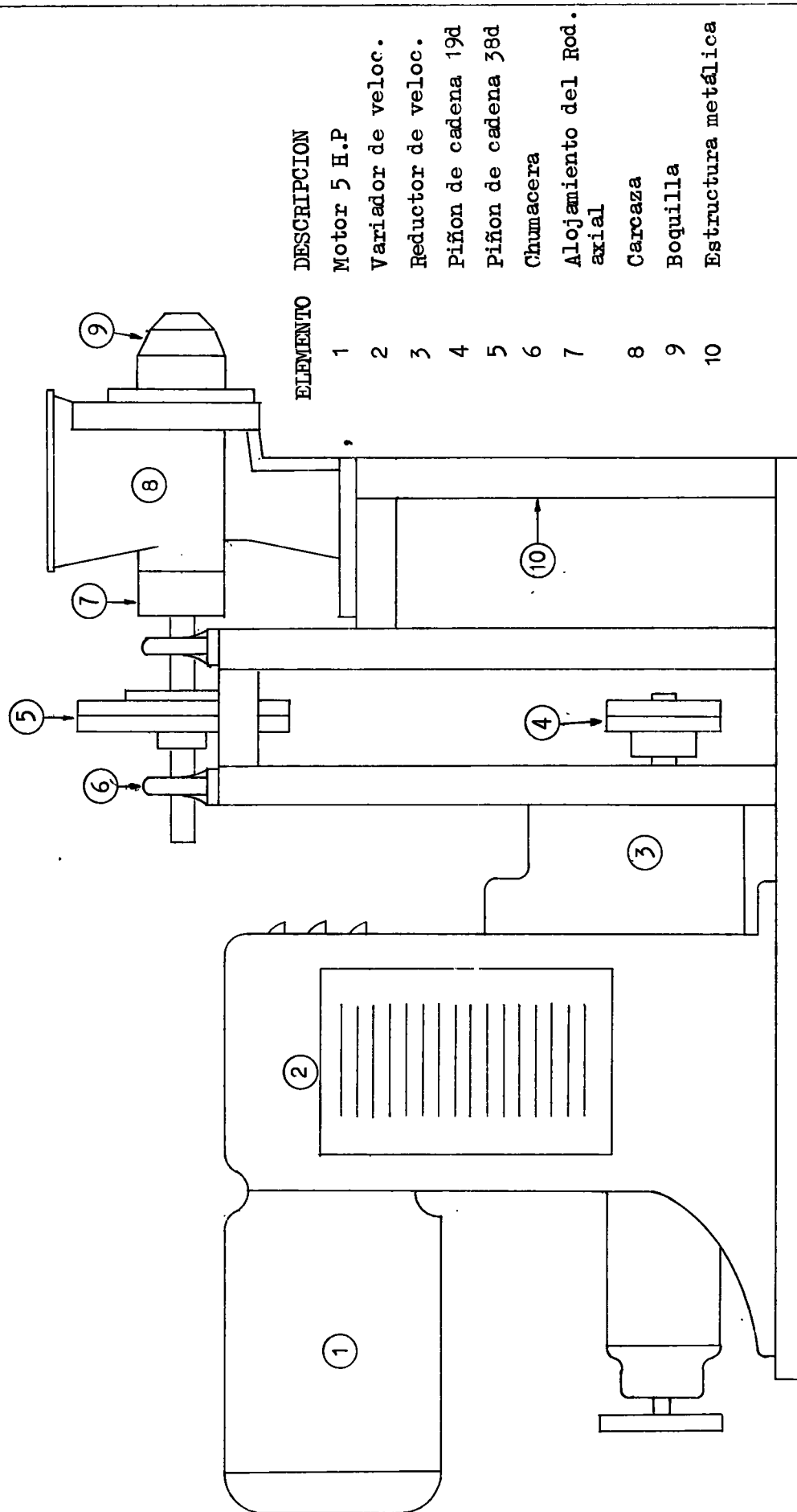
Alojamiento del rodamiento axial



Buje de Bronce



ANEXO 7 Plano del alojamiento del rodamiento axial. Casquete de acero transmisor de la fuerza axial al rodamiento. Buje de bronce que soporta el casquete.



ANEXO 8 Máquina extrusora de fideos. Escala 1.75